



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



REVISTA INDUSTRIAL 4.0

ISSN 2958-017x

Edición Impresa Nro. 9
Junio 2024

PRESENTACIÓN

El Revista Industrial 4.0, florece en su novena edición digital, en cinco años de fructífera labor de publicación de artículos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. La plataforma de la Carrera de Ingeniería Industrial, luce más que nunca como una palestra de la producción científica, que busca mostrar a la sociedad y al mundo, los ribetes de la generación de conocimiento de hombres y mujeres profesionales, que indagan nuevas vetas del saber.



M. Sc. Ing. Fernando Sanabria Camacho
Director Instituto Investigaciones Industriales

Hoy más que nunca la academia necesita ser protagonista, en un contexto en el que la humanidad, busca soluciones a sus múltiples problemas de subsistencia. El propio desarrollo tecnológico, ha despegado sin medir consecuencias, efectos e impactos de tipo social y ambiental. La variable económica parece ser la que prevalece en todo momento, aunque carente de la consideración de las previsiones del riesgo. Por ello, es vital que la academia fortalezca sus instrumentos de gestión de la ciencia, tecnología e innovación, con visión de pertinencia y sostenibilidad.

Dicho proceso se consolida con la fase culminante de la difusión y transferencia de los resultados intermedios y finales, las lecciones aprendidas, los hallazgos, las innovaciones y el potencial de esperanza que los investigadores, deben mostrar y compartir. Por ello, la importancia de la oportunidad que la Revista Industrial 4.0 ofrece a la comunidad académica y científica de ingeniería industrial y las disciplinas complementarias. Por el impulso demostrado, sin duda, ocupará el sitio de las revistas especializadas indexadas de Latinoamérica, en el corto plazo.

M.Sc. Ing. Fernando Sanabria Camacho
Director Instituto Investigaciones Industriales

**Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial**

**Dra. María Eugenia García Moreno
Dr. Tito Estévez Martini
Ing. Freddy Gutierrez Barea
Ing. Miguel Muñoz Black
Ing. Franz José Zenteno Benítez**

**Rectora
Vicerrector
Decano Facultad de Ingeniería
ViceDecano Facultad de Ingeniería a.i.
Director de Carrera Ingeniería Industrial**

**Revista Industrial 4.0
Edición Impresa N° 9 - Junio 2024
Impresa: ISSN 2958-017X
En Línea: ISSN-L 2958-0188**

**Comite Editor:
Ing. Mónica Lino Humerez
Ing. Grover Sanchez Eid
Ing. Fernando Sanabria Camacho**

**Diseño Versión Impresa & web:
Ing. Enrique Orosco Crespo**

**Imagen Tapa:
Carrera de Ingeniería Industrial**

**Imprenta:
Walking Graf**

**Depósito Legal:
4-3-68-20**

**Web:
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo**

**Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
TEI. 2205000-2205067, Int. 1402
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30**

EVALUACIÓN DE PROYECTOS, EMPLEANDO LA TÉCNICA DE ANÁLISIS MULTICRITERIO AHP, DE ACUERDO A LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO BÁSICO DE REINVERSIÓN, RM. 115/2015 DEL VIPFE

Aldo Felipe Vargas Pacheco
ORCID: 0000-0001-9884-0793
aldo.vargas@gmail.com

Recibido: 30 de abril; aprobado: 28 de junio

Resumen

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una herramienta de toma de decisiones que ha demostrado ser invaluable en la evaluación de proyectos. En este artículo se exponen los fundamentos matemáticos y psicológicos, su aplicación práctica en diversos sectores y su metodología detallada. Se muestra también, las ventajas significativas que ofrece, como la capacidad de desglosar problemas complejos y la inclusión de juicios subjetivos, así como sus limitaciones, como la posibilidad de subjetividad excesiva y la complejidad que puede surgir con un gran número de elementos. AHP se destaca por su enfoque sistemático y su capacidad para incorporar tanto criterios cualitativos como cuantitativos en la toma de decisiones. Esta técnica no solo facilita la selección entre múltiples alternativas complejas sino que también promueve la coherencia en el proceso de evaluación. A pesar de sus desafíos, AHP sigue siendo una de las metodologías más robustas y confiables en la investigación de operaciones, proporcionando un marco estructurado que puede adaptarse a las necesidades cambiantes de las organizaciones y los proyectos.

El futuro de AHP es prometedor, con oportunidades para su expansión y mejora. La integración con nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, big data, machine learning, entre otras, puede ampliar aún más sus capacidades. Además, se discuten las limitaciones y desafíos que presenta AHP, como la subjetividad en las comparaciones, la complejidad con muchos elementos, la sensibilidad a pequeños cambios y la necesidad de consistencia.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la evaluación de proyectos, con ventajas significativas y oportunidades para su expansión y mejora en el futuro.

Abstract

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a decision-making tool that has proven to be invaluable in project evaluation. The document presents the mathematical and psychological foundations, its practical application in various sectors, and its detailed methodology. It also shows the significant advantages it offers, such as the ability to break down complex problems and the inclusion of subjective judgments, as well as its limitations, such as the possibility of excessive subjectivity and the complexity that can arise with a large number of elements. AHP stands out for its systematic approach and its ability to incorporate both qualitative and quantitative criteria in decision-making. This technique not only facilitates the selection among multiple complex alternatives but also promotes coherence in the evaluation process. Despite its challenges, AHP remains one of the most robust and reliable methodologies in operations research, providing a structured framework that can adapt to the changing needs of organizations and projects.

The future of AHP is promising, with opportunities for its expansion and improvement. Integration with new technologies, such as artificial intelligence, big data, machine learning, among others, can further expand its capabilities. In addition, the limitations and challenges presented by AHP, such as subjectivity in comparisons, complexity with many elements, sensitivity to small changes, and the need for consistency, are discussed.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a valuable tool for decision-making in project evaluation, with significant advantages and opportunities for its expansion and improvements in the future.

I. Introducción

En el umbral del desarrollo sostenible y la planificación estratégica, Bolivia se enfrenta al desafío de optimizar sus recursos y esfuerzos para alcanzar un progreso equitativo y duradero. La Resolución Ministerial 115/2015 del Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE) representa un pilar fundamental en este empeño, estableciendo un marco normativo para la preinversión de proyectos que buscan no solo el crecimiento económico, sino también la inclusión social y la armonía con nuestro entorno natural.

Este ensayo se propone analizar la RM 115/2015, desde el punto de vista de la evaluación de proyectos de inversión pública que son evaluados mediante la técnica del análisis multicriterio.

La preinversión, según la RM 115/2015, es la fase del ciclo del proyecto donde se elaboran estudios para la ejecución de proyectos de inversión pública. Esta etapa es crucial, ya que establece la viabilidad técnica, económica, financiera, legal, social, institucional, medioambiental, de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático de los proyectos¹. Es, por tanto, un proceso que requiere de un análisis exhaustivo y meticuloso, que garantice la efectividad y eficiencia de la inversión.

En este capítulo introductorio, se establecerán las bases para una discusión profunda sobre la importancia de la RM 115/2015 en la estructuración de un sistema de inversión pública que sea transparente, responsable y alineado con los objetivos de desarrollo a largo plazo del país. Abordaremos los antecedentes históricos que dieron lugar a su creación, el contexto socioeconómico en el que se inscribe, y las expectativas que genera en cuanto a la transformación de la gestión de proyectos en Bolivia.

El presente artículo tiene como objetivo establecer las pautas y directrices para la realización de los Estudios de Diseño Técnico de Preinversión, los cuales son fundamentales en el proceso de evaluación y planificación de proyectos de inversión pública. Estos estudios abarcan una amplia gama de proyectos, desde aquellos orientados al desarrollo empresarial productivo hasta proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, así como proyectos de desarrollo social y fortalecimiento institucional.

En el contexto de la planificación y ejecución de proyectos de inversión pública, es crucial contar con un marco metodológico sólido que permita evaluar de manera integral la viabilidad y el impacto potencial de cada iniciativa. Los Estudios de Diseño Técnico de Preinversión proporcionan esta base, al considerar aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, entre otros, que son fundamentales para la toma de decisiones informadas.

En este contexto, desarrollar un modelo de evaluación de proyectos que no tengan como base el uso de indicadores tradicionales como lo son los de rentabilidad o de tipo económico/social, es fundamental para toda la gama de proyectos que no permiten obtener información primaria que permita calcularlos. Es por esta razón que la RM 115/2015 plantea realizar esta evaluación

¹ RM 115/2015 VIPFE:

empleando dos técnicas, la primera es determinando la “Coherencia” y “Pertinencia”, técnica que no deja de ser subjetiva y sujeta a las políticas y estrategias de las instituciones que patrocinan los proyectos. La segunda técnica es empleando la técnica de evaluación multicriterio, que muchas veces se confunde con el establecimiento de criterios para un determinado escenario, asignar ponderación para estos criterios y evaluar las alternativas sobre la base de estos criterios, técnica que si bien es útil para evaluar proyectos pequeños con pocas alternativas y criterios, es poco útil en la evaluación de proyectos donde se presentan múltiples alternativas y criterios, debiéndose introducir esta información en un modelo matemático de “decisiones” conocido como AHP.

II. La Técnica AHP en la Evaluación de Proyectos

La toma de decisiones en la gestión de proyectos es un proceso complejo que involucra múltiples criterios, a menudo cualitativos y cuantitativos. En este escenario, la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) desarrollada por Thomas L. Saaty² emerge como una herramienta poderosa y versátil para la evaluación de proyectos. Este capítulo introductorio se sumerge en las profundidades de AHP, explorando su aplicación en la investigación de operaciones y su impacto en la toma de decisiones estratégicas.

El AHP es un método estructurado para organizar y analizar decisiones complejas, basado en matemáticas y psicología³. Fue desarrollado en la década de 1970 y desde entonces ha sido extensamente estudiado y refinado. La esencia de AHP radica en su capacidad para cuantificar los pesos de los criterios de decisión, utilizando las experiencias individuales de los expertos para estimar la magnitud relativa de los factores a través de comparaciones por pares².

En el contexto de la evaluación de proyectos, AHP facilita la estructuración de un problema de decisión en una jerarquía de subproblemas más fácilmente comprensibles, que pueden ser analizados independientemente. Los elementos de la jerarquía pueden relacionarse con cualquier aspecto del problema de decisión, ya sea tangible o intangible, medido con precisión o estimado aproximadamente, bien o mal entendido².

Una vez construida la jerarquía, se evalúan sus diversos elementos comparándolos entre sí dos a dos, con respecto a su impacto en un elemento

² https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_L._Saaty

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process

superior en la jerarquía. En la realización de las comparaciones, se pueden utilizar datos concretos sobre los elementos y también sus juicios sobre el significado relativo e importancia de los mismos.

Este capítulo establece el terreno para una discusión detallada sobre cómo AHP se integra en los procesos de evaluación de proyectos, proporcionando un marco racional y comprensivo para estructurar un problema de decisión, representar y cuantificar sus elementos, relacionar esos elementos con los objetivos generales y evaluar soluciones alternativas. Se examinará cómo AHP ayuda a los evaluadores de proyectos a encontrar la decisión que mejor se adapta a su objetivo y su comprensión del problema, más que prescribir una “decisión correcta”.

A lo largo de este artículo, se destacará la relevancia de AHP en la selección de alternativas de proyectos, la asignación de recursos y la priorización de acciones, subrayando su importancia en la consecución de objetivos estratégicos y en la mejora de la eficiencia y efectividad de los proyectos. Asimismo, se discutirán las críticas y limitaciones de la técnica, así como las posibles direcciones para su desarrollo futuro.

Con un enfoque en la teoría y la práctica, este artículo invita a los lectores a considerar la técnica AHP no solo como una metodología de evaluación, sino como una filosofía de toma de decisiones que enfatiza la claridad, la coherencia y la sistematización en la gestión de proyectos.

III. Fundamentos Teóricos de AHP

Descripción Matemática del AHP

- El AHP se basa en matemáticas para descomponer problemas complejos en una serie de comparaciones más simples.
- Utiliza una matriz de comparación por pares para evaluar la importancia relativa de un conjunto de alternativas frente a un criterio.
- La consistencia de las comparaciones se verifica a través del ratio de consistencia (CR), que debe ser menor al 10% para ser aceptable.
- **Ejemplo de matriz de comparación por pares:**

$$\begin{array}{ccc} 1 & a_{12} & a_{13} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 \end{array}$$

- Los pesos de prioridad se derivan del vector propio principal de la matriz de comparación.

Principios Psicológicos detrás de las Comparaciones por Pares

La técnica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) se fundamenta en varios principios psicológicos que reflejan cómo las personas toman decisiones en la vida real. Estos fundamentos son esenciales para entender por qué AHP es efectivo en la captura de juicios humanos y cómo facilita la toma de decisiones complejas. Aquí detallo algunos de los fundamentos psicológicos más relevantes en los que se basa AHP:

1. **Comparaciones Relativas vs. Absolutas:** AHP se basa en el principio de que los seres humanos son mejores haciendo comparaciones relativas entre dos elementos en lugar de asignar valores absolutos. Esto se debe a que las comparaciones relativas permiten una evaluación más intuitiva y directa de las preferencias y prioridades⁴.
2. **Ley de Weber-Fechner:** Este principio psicofísico sugiere que la percepción de un cambio en un estímulo es proporcional a la magnitud del estímulo original. AHP utiliza una escala logarítmica para las comparaciones por pares, lo que se alinea con la forma en que percibimos los cambios en los estímulos. Esto significa que si un estímulo crece en progresión geométrica, la percepción evolucionará como una progresión aritmética⁴.
3. **Capacidad Cognitiva Limitada:** La teoría cognitiva reconoce que los seres humanos tienen una capacidad limitada para procesar información. AHP aborda esta limitación al descomponer decisiones complejas en una serie de comparaciones más simples, lo que hace que el proceso de toma de decisiones sea más manejable y menos propenso a errores⁵.
4. **Constructivismo Cognitivo:** AHP se alinea con la idea de que el conocimiento y las preferencias no son estáticos, sino que se construyen a través de la interacción con el entorno y la reflexión. Al realizar comparaciones por pares y construir una jerarquía de criterios y

⁴ <https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/ExplicacionMetodoAHP%28ve%20rpaginas11-16%29.pdf>

⁵ <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

alternativas, los individuos participan activamente en la construcción de sus preferencias y decisiones⁴.

5. **Consistencia y Retroalimentación:** AHP proporciona un mecanismo para verificar la consistencia de las comparaciones por pares, lo que refleja el principio psicológico de buscar coherencia en nuestras creencias y juicios. Además, permite la revisión y ajuste de juicios, ofreciendo una oportunidad para la retroalimentación y el aprendizaje⁴.

Estos fundamentos psicológicos subrayan la importancia de un enfoque que considere la naturaleza humana en la toma de decisiones. AHP ofrece un marco que no solo es matemáticamente riguroso sino también psicológicamente intuitivo, lo que ayuda a los tomadores de decisiones a navegar por la complejidad de evaluar múltiples criterios y alternativas.

- La técnica AHP reconoce que los seres humanos naturalmente comparan cosas de manera relativa, no absoluta.
- Las comparaciones por pares permiten a los individuos hacer juicios intuitivos que reflejan sus percepciones y preferencias.

Escala de Saaty: Se utiliza para cuantificar las comparaciones, donde 1 significa igual importancia y 9 indica una importancia extremadamente mayor de un elemento sobre otro.

- **Ejemplo de uso de la escala de Saaty:**
 - 1: Igual importancia
 - 3: Moderada importancia de uno sobre otro
 - 5: Importancia esencial o fuerte
 - 7: Mucha más importancia
 - 9: Importancia absoluta

La Estructura Jerárquica en AHP y su Importancia

- La jerarquía en AHP refleja la estructura del problema de decisión, desde el objetivo general hasta los criterios y subcriterios, hasta las alternativas.
- Facilita la organización de elementos complejos y su análisis sistemático.
- **Niveles de la jerarquía:**
 - **Nivel superior:** Objetivo global del proyecto o decisión.
 - **Nivel intermedio:** Criterios y subcriterios que influyen en la decisión.
 - **Nivel inferior:** Alternativas o opciones disponibles.

- La claridad de la jerarquía ayuda a los tomadores de decisiones a mantener el enfoque en los objetivos y a evaluar coherentemente las opciones.

Estos tres pilares fundamentales del AHP proporcionan un marco sólido para la toma de decisiones en la evaluación de proyectos, permitiendo a los gestores y analistas abordar problemas complejos con una metodología estructurada y basada en evidencia.

Además de estos fundamentos matemáticos es fundamental verificar la consistencia del proceso, para ello se emplea una técnica denominada “Verificación de consistencia”, la que se explica a continuación:

La verificación de la consistencia en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es un paso crucial para asegurar que los juicios realizados en las comparaciones por pares sean lógicos y coherentes. Aquí se explica cómo se verifica la consistencia en AHP:

1. **Cálculo del Índice de Consistencia (CI):** Después de realizar las comparaciones por pares y obtener la matriz de comparación, se calcula el máximo autovalor λ_{max} de la matriz. El CI se obtiene utilizando la fórmula:

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

donde (n) es el número de elementos que se están comparando. Un CI de cero indica consistencia perfecta⁶

2. **Razón de Consistencia (CR):** Para determinar si el CI es aceptable, se compara con un valor promedio conocido como Índice Aleatorio (RI), que depende del número de elementos comparados. La CR se calcula con la fórmula:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Si la CR es menor o igual a 0.10 (o 10%), se considera que las comparaciones tienen un nivel aceptable de consistencia³.

3. **Revisión de Comparaciones:** Si la CR excede el 10%, se debe revisar la matriz de comparaciones por pares para corregir las incoherencias.

⁶ <https://victoryepes.blogs.upv.es/2022/02/15/calculo-de-la-consistencia-y-el-vector-propio-en-ahp/>

Esto puede implicar reevaluar los juicios subjetivos y ajustar las comparaciones hasta que la consistencia sea aceptable³.

El proceso de verificación de la consistencia es esencial en AHP porque garantiza que las preferencias y prioridades derivadas reflejen una lógica consistente y no estén sesgadas por juicios arbitrarios o contradictorios.

IV. Metodología de AHP en la Evaluación de Proyectos

Pasos Detallados para Implementar AHP en la Evaluación de Proyectos La implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en la evaluación de proyectos es un proceso estructurado que permite a los tomadores de decisiones abordar problemas complejos de manera sistemática y racional. A continuación, se detallan los pasos para aplicar AHP en la evaluación de proyectos:

- **Definición del Problema y del Objetivo:** El primer paso es identificar claramente el problema a resolver y el objetivo principal del proyecto. Esto establece el fundamento para la jerarquía AHP.
- **Desarrollo de la Estructura Jerárquica:** Se construye una jerarquía que comienza con el objetivo en la cima, seguido por niveles de criterios y subcriterios, y finalmente las alternativas en la base.
- **Comparaciones por Pares y Evaluación de Criterios y Alternativas:** Se realizan comparaciones por pares entre los elementos de cada nivel de la jerarquía para determinar su importancia relativa o su contribución al nivel superior.
- **Cálculo de Pesos de Prioridad:** Utilizando los resultados de las comparaciones por pares, se calculan los pesos de prioridad para cada elemento de la jerarquía.
- **Verificación de Consistencia:** Se verifica la consistencia de las comparaciones por pares para asegurar que los juicios sean coherentes y lógicos.
- **Síntesis de Resultados:** Los pesos de prioridad se combinan a través de la jerarquía para determinar un puntaje global para cada alternativa.
- **Selección de la Mejor Alternativa:** La alternativa con el mayor puntaje global se considera la más alineada con el objetivo del proyecto y, por lo tanto, la mejor opción.

Cómo Manejar y Cuantificar Criterios Cualitativos y Cuantitativos El manejo y la cuantificación de criterios cualitativos y cuantitativos en AHP son fundamentales para una evaluación integral de proyectos. A continuación, se describen las estrategias para abordar ambos tipos de criterios:

- **Criterios Cualitativos:**
 - Traducción de juicios subjetivos a valores numéricos utilizando la escala de Saaty.
 - Realización de sesiones de trabajo con expertos para alcanzar un consenso sobre la importancia relativa de los criterios cualitativos.
 - Uso de ejemplos concretos o escenarios hipotéticos para facilitar la comprensión y la comparación de criterios abstractos.
- **Criterios Cuantitativos:**
 - Incorporación de datos estadísticos y métricas objetivas en la matriz de comparación por pares.
 - Ajuste de la escala de Saaty para reflejar diferencias cuantitativas significativas entre opciones.
 - Validación de los pesos cuantitativos asignados con datos históricos o benchmarks de la industria.

Uso de Software y Herramientas para Facilitar el Proceso AHP La utilización de software especializado y herramientas informáticas es esencial para facilitar la implementación de AHP en la evaluación de proyectos. Estas herramientas permiten:

- Automatizar las comparaciones por pares y el cálculo de pesos de prioridad.
- Proporcionar interfaces gráficas para la construcción y visualización de la jerarquía AHP.
- Ofrecer funcionalidades para la verificación de consistencia y el análisis de sensibilidad.
- Facilitar la colaboración entre los miembros del equipo y la documentación del proceso de toma de decisiones.

Estos tres aspectos de la metodología AHP proporcionan una guía detallada para su aplicación en la evaluación de proyectos, asegurando que el proceso sea riguroso, transparente y eficaz. La metodología AHP, con su enfoque estructurado y su capacidad para manejar criterios diversos, se presenta como

una herramienta invaluable para la toma de decisiones estratégicas y la gestión de proyectos.

V. Ejemplo práctico de evaluación de alternativas de inversión

Supongamos que un experimentado inversor, está considerando una inversión en un proyecto de energía solar en un municipio. La propuesta implica la construcción de una planta solar fotovoltaica de 100 megavatios en un terreno de 100 hectáreas. La decisión de la mejor alternativa se realizará utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), una herramienta que permitirá comparar y evaluar las alternativas de inversión de manera sistemática.

El inversor establece sus objetivos clave antes de tomar la decisión de inversión. Su principal objetivo es maximizar el beneficio financiero de su inversión. Además, busca contribuir al desarrollo sostenible y generar empleo en la comunidad local. Las alternativas que el inversor tiene son las siguientes:

Invertir en el Proyecto (A1)

- Implica un compromiso financiero significativo de 500,000 Bs.
- Potencial para rendimientos elevados de 100,000 Bs.
- Riesgo asociado a la volatilidad del mercado.

No Invertir en el Proyecto (A2)

- Conserva los recursos financieros actuales.
- Evita riesgos potenciales del mercado.
- Pérdida de oportunidad en caso de éxito del proyecto.

Invertir para Mejorar las Condiciones (A3)

- Posibilidad de mitigar riesgos y mejorar el rendimiento del proyecto con una inversión adicional de 200,000 Bs.
- Beneficios económicos adicionales de 50,000 Bs.
- Implica un impacto ambiental alto.

Los criterios de evaluación que se toman en cuenta para las tres alternativas son:

a) Criterio Financiero:

- Evaluación de la rentabilidad del proyecto.
- Análisis de costos asociados a cada alternativa.

b) Criterio Económico:

- Evaluación del impacto en el PIB per cápita.
- Análisis de beneficios económicos directos.

c) Criterio Impacto Ambiental:

- Evaluación del impacto ambiental del proyecto (Bajo para A1, N/A⁷ para A2, Modera para A3).
- Consideración de prácticas sostenibles.

d) Criterio Crecimiento de Empleo:

- Evaluación de la creación de empleo generada por cada alternativa (50 para A1, 0 para A2, 20 para A3).
- Análisis del impacto social en términos de empleabilidad.

Empleando la escala de Saaty se plantea la tabla 1. de comparación pareada.

Tabla 1.

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho mas importante que el criterio B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el criterio B esta fuera de duda
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores	

Fuente: The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation

El inversor se enfrenta a tres alternativas para su proyecto de energía solar. La opción de "Invertir (A1)" implica un compromiso financiero significativo de Bs. 500,000 con un potencial de rendimientos de Bs. 100,000, un impacto ambiental bajo y la creación directa de 50 empleos. Por otro lado, "No Invertir (A2)" conserva recursos financieros actuales sin rendimientos, sin impacto ambiental directo, y no genera empleo. La alternativa "Invertir para Mejorar Condiciones (A3)" requiere una inversión adicional de Bs. 200,000, con beneficios económicos de Bs. 50,000, un impacto ambiental moderado y la creación directa de 20 empleos. Estos datos financieros y de impacto son cruciales para la toma

⁷ No Disponible

de decisiones, quien busca maximizar rendimientos y contribuir al desarrollo sostenible de manera equilibrada.

Tabla 2.

ALTERNATIVAS		CRITERIOS				
		FINANCIERO [Bs]	ECONOMICO [Bs]	IMPACTO AMBIENTAL	CREACIÓN DE EMPLEO	
Invertir	A1	Bs 500.000,00	Bs 100.000,00	Bajo	50	DIRECTO
No invertir	A2	Bs -	Bs -	N/A	0	-
Invertir para mejorar las condiciones	A3	Bs 200.000,00	Bs 50.000,00	Moderado	20	DIRECTO

Fuente: Elaboración propia

Sobre esta información se elabora la matriz de comparación de criterios:

Tabla 3.

COMPARACIÓN DE CRITERIOS									
CRITERIOS	FINANCIERO	ECONOMICO	IMPACTO AMBIENTAL	CREACIÓN DE EMPLEO	MATRIZ NORMALIZADA				PONDERACIÓN
FINANCIERO	1	3	5	7	0,60	0,66	0,54	0,44	0,56
ECONOMICO	1/3	1	3	5	0,20	0,22	0,32	0,31	0,26
AMBIENTAL	1/5	1/3	1	3	0,12	0,07	0,11	0,19	0,11
CREACIÓN DE EMPLEO	1/7	1/5	1/3	1	0,09	0,04	0,04	0,06	0,06
TOTAL	1,68	4,53	9,33	16,00					

Fuente: Elaboración propia

Ahora procedemos a calcular la Razón de Consistencia CR:

Tabla 4.

Número de criterios (n)	4
AxP	2,356
Índice de consistencia "CI" = (n max-n)/(n-1)	0,059
Índice aleatorio "RI" = 1,98*(n-2)/n	0,990
Relación de consistencia "CR" = CI/RI	0,059
nmax=	4,177
Si CR<0,1 se ha ponderado razonablemente	

Fuente: Elaboración propia

Se procede a evaluar los criterios para las distintas alternativas:

Tabla 5.

CRITERIO (FINANCIERO)				MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
ALTERNATIVAS	Invertir (A1)	Invertir (A2)	Invertir (A3)				
Invertir (A1)	1	3	2	0,545	0,692	0,333	0,524
Invertir (A2)	1/3	1	3	0,182	0,231	0,500	0,304
Invertir (A3)	1/2	1/3	1	0,273	0,077	0,167	0,172
TOTAL	2	4	6				

CRITERIO (ECONOMICO)				MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
ALTERNATIVA	Invertir (A1)	Invertir (A2)	Invertir (A3)				
Invertir (A1)	1	3	2	0,545	0,692	0,333	0,524
Invertir (A2)	1/3	1	1/2	0,182	0,231	0,083	0,165
Invertir (A3)	1/2	2	1	0,273	0,462	0,167	0,300
TOTAL	2	6	4				

CRITERIO (IMPACTO AMBIENTAL)				MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
ALTERNATIVA	Invertir (A1)	Invertir (A2)	Invertir (A3)				
Invertir (A1)	1	3	2	0,545	0,692	0,333	0,524
Invertir (A2)	1/3	1	1/2	0,182	0,231	0,083	0,165
Invertir (A3)	1/2	2	1	0,273	0,462	0,167	0,300
TOTAL	2	6	4				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.

ALTERNATIVA	CRITERIO (CREACIÓN DE EMPLEO)			MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
	Invertir (A1)	Invertir (A2)	Invertir (A3)				
Invertir (A1)	1	7	3	0,545	1,615	0,500	0,887
Invertir (A2)	1/7	1	1/3	0,078	0,231	0,056	0,121
Invertir (A3)	1/3	3	1	0,182	0,692	0,167	0,347
TOTAL	1	11	4				

Fuente: Elaboración propia

Una vez analizadas las tres alternativas en base a sus respectivos criterios, y obtenidos los vectores promedio, se procede a centralizar esta información en una matriz de análisis de alternativas.

Tabla 7.

CRITERIO / ALTERNATIVA	FINANCIERO	ECONOMICO	IMPACTO AMBIENTAL	CREACIÓN DE EMPLEO	PRIORIZACION
Invertir (A1)	0,524	0,524	0,524	0,887	0,544
Invertir (A2)	0,304	0,165	0,165	0,121	0,240
Invertir (A3)	0,172	0,300	0,300	0,347	0,231
PONDERACIONES	0,56	0,26	0,12	0,06	

Fuente: Elaboración propia

En esta matriz se calcula la valoración de la alternativas multiplicando el factor ponderador de cada criterio, obtenido anteriormente, por el valor del vector promedio de cada alternativa. Esto nos da como resultado un vector final de priorización que puede ser interpretado para la toma de la mejor decisión técnica. La mejor alternativa para el inversor, es asignar recursos en el proyecto para mejorar las condiciones. Debido a que esta alternativa tiene la mayor prioridad en todos los criterios.

VI. Ventajas y Limitaciones de AHP

Ventajas de AHP en la Toma de Decisiones: El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) ofrece múltiples ventajas en la toma de decisiones, especialmente en la evaluación de proyectos. Algunas de las ventajas más significativas incluyen:

- **Estructuración de Decisiones Complejas:** AHP permite descomponer problemas complejos en componentes más manejables, facilitando la comprensión y el análisis.
- **Incorporación de Juicios Subjetivos:** A través de las comparaciones por pares, AHP integra juicios subjetivos y preferencias individuales en el proceso de toma de decisiones.

- **Flexibilidad:** AHP es adaptable a una amplia variedad de situaciones y puede ser utilizado en diferentes industrias y contextos.
- **Facilidad de Uso:** Con la ayuda de software especializado, AHP se convierte en una herramienta accesible para profesionales y no expertos por igual.
- **Claridad en la Priorización:** AHP proporciona un método claro y cuantitativo para priorizar opciones y criterios, lo que resulta en decisiones más informadas.

Limitaciones de AHP: A pesar de sus ventajas, AHP también presenta ciertas limitaciones y desafíos que deben ser considerados:

- **Subjetividad en las Comparaciones:** Las comparaciones por pares dependen en gran medida de juicios subjetivos, lo que puede llevar a inconsistencias si no se manejan adecuadamente.
- **Complejidad con Muchos Elementos:** A medida que aumenta el número de elementos en la jerarquía, el proceso de comparación por pares puede volverse tedioso y propenso a errores.
- **Sensibilidad a Pequeños Cambios:** AHP puede ser sensible a pequeños cambios en las comparaciones o en los criterios, lo que puede afectar significativamente los resultados finales.
- **Necesidad de Consistencia:** La necesidad de mantener una consistencia aceptable en las comparaciones puede requerir un esfuerzo considerable para revisar y ajustar juicios.

Comparación con Otras Técnicas de Evaluación de Proyectos Finalmente, es importante comparar AHP con otras técnicas de evaluación de proyectos para entender su posición relativa:

- **Contra Métodos Cuantitativos Tradicionales:** AHP se destaca por su capacidad para manejar criterios cualitativos, a diferencia de métodos puramente cuantitativos como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR).
- **Contra Métodos Cualitativos:** AHP proporciona una estructura más rigurosa y un enfoque cuantitativo en comparación con métodos cualitativos como los grupos focales o el brainstorming.

- **Integración con Otras Herramientas:** AHP complementa otras herramientas de evaluación y puede ser utilizado en conjunto con ellas para una evaluación más robusta.

VII. Conclusiones

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas L. Saaty, es una herramienta de toma de decisiones que ha demostrado ser invaluable en la evaluación de proyectos. A lo largo de este ensayo, hemos explorado sus fundamentos matemáticos y psicológicos, su aplicación práctica en diversos sectores y su metodología detallada. Hemos discutido las ventajas significativas que ofrece, como la capacidad de desglosar problemas complejos y la inclusión de juicios subjetivos, así como sus limitaciones, como la posibilidad de subjetividad excesiva y la complejidad que puede surgir con un gran número de elementos.

AHP se destaca por su enfoque sistemático y su capacidad para incorporar tanto criterios cualitativos como cuantitativos en la toma de decisiones. Esta técnica no solo facilita la selección entre múltiples alternativas complejas sino que también promueve la coherencia en el proceso de evaluación. A pesar de sus desafíos, AHP sigue siendo una de las metodologías más robustas y confiables en la investigación de operaciones, proporcionando un marco estructurado que puede adaptarse a las necesidades cambiantes de las organizaciones y los proyectos.

VIII. Invitación a la Investigación y Aplicación Futura de AHP

El futuro de AHP es prometedor, con oportunidades para su expansión y mejora. La integración con nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, big data, machine learning, entre otras, puede ampliar aún más sus capacidades. Además, la investigación continua en áreas como la mejora de la consistencia en las comparaciones por pares y la gestión de la complejidad en jerarquías extensas puede fortalecer la utilidad de AHP. Se invita a los profesionales, estudiantes y todo entusiasta de la Investigación de Operaciones, a continuar explorando y aplicando AHP, contribuyendo así al avance de la toma de decisiones estratégicas en la evaluación de proyectos.

Bibliografía

1. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill International Book Co.

2. Vargas, L. G. (1990). *An overview of the analytic hierarchy process and its applications*. European Journal of Operational Research,.

Bodas de Marmol

85

*Años Formando
Profesionales Exitosos*

**Todos los Derechos Reservados
Carrera de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Mayor de San Andrés**

La Paz - Bolivia 2024