

# Determination of the Weightings of Hydroelectric Sustainability Criteria by Combining AHP and GP Extended Methods

*Determinación de las Ponderaciones de los Criterios de Sustentabilidad HidroEléctrica Mediante la Combinación de los Métodos AHP y GP Extendido*

**José Andrés Gómez-Romero<sup>1</sup>, Rocío Soto Flores<sup>2</sup>, Susana Garduño Román<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad -México.,

<sup>2</sup>Escuela Superior de Comercio y Administración Unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional - México.

Correspondence email: andres.gomez02@cfe.gob.mx, mrsoto@ipn.mx, sgarduno@ipn.mx

Recibido: 01/03/2019. Modificado: 29/04/2019. Aceptado: 20/05/2019.

## Abstract

**Context:** Hydroelectric is a mature and long-lasting technology, but it has presented environmental and social problems. To address these problems, hydroelectric sustainability initiatives have been created for more than two decades. In Mexico, hydroelectric projects present environmental and social problems that cause delays in their construction or delays in their entry into operation. The objective of this study was to define the weightings of the criteria of hydroelectric sustainability through multicriteria decision making methods to a group of experts.

**Method:** Through the combination of the multicriteria Analytical Hierarchical Process and the Programming of Goals the opinion of a group of experts was obtained in the planning of hydroelectric projects.

**Results:** Once the AHP-GP methods were applied to determine the weighting of the hydroelectric sustainability perspectives, it was found that the weights closest to the opinion of all the groups are those issued by the group of governance experts.

**Conclusions:** The results indicate that, when questioning a heterogeneous group of experts, it was observed that significant agreements are presented between the groups, which is noteworthy because they are groups of experts that have different specialties.

**Keywords:** Analytical Hierarchical Process (AHP), Programming by Goals (GP), Hydroelectric Sustainability, Not homogeneous groups, Decisions making.

**Language:** Spanish

Open access



Cite this paper as: J.-A. Gómez-Romero, R. Soto, S. Garduño, "Determination of the Weightings of Hydroelectric Sustainability Criteria by Combining AHP and GP Extended Methods", Ingeniería, Vol. 24, Num. 2, pp. 116-142, May-August 2019.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.14469>

### Resumen

**Contexto:** La hidroelectricidad es una tecnología madura y de larga duración que ha presentado problemas ambientales y sociales, para hacerle frente a estos problemas se crearon iniciativas de sustentabilidad hidroeléctrica desde hace más de dos décadas. En México los proyectos hidroeléctricos presentan problemas ambientales y sociales que ocasionan retrasos en su construcción o en su entrada a operación. El objetivo de este estudio fue determinar las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica, mediante métodos multicriterio de toma de decisiones a un grupo de expertos.

**Método:** A partir de la combinación de los métodos multicriterio Proceso Analítico Jerárquico y la Programación por Metas se consiguió la opinión de expertos en la planeación de proyectos hidroeléctricos.

**Resultados:** Una vez aplicada la combinación de los métodos AHP-GP se ponderaron las perspectivas de sustentabilidad hidroeléctrica, con lo que se encontró que la solución más cercana a la opinión de los grupos fue la emitida por el grupo de expertos en gobernanza.

**Conclusiones:** Los resultados indican que al cuestionar a un grupo heterogéneo de expertos se observó que se presentaron acuerdos significativos entre los grupos, lo cual llamó la atención por tratarse de grupos de expertos con especialidades diferentes.

**Palabras clave:** Grupos heterogéneos, proceso analítico jerárquico, programación por metas, sustentabilidad hidroeléctrica, toma de decisiones.

**Idioma:** Español

## 1. Introducción

La demanda creciente de energía en el planeta y especialmente en Latinoamérica ofrece la probabilidad de utilizar recursos energéticos renovables; para [1], en 2012, el consumo eléctrico en esta región alcanzó los 948.000 GWh, y la energía hidroeléctrica contribuyó con el 66 % de la producción total. En Centro América se elevó por arriba del 90 %, ya que es una tecnología madura y de larga duración, con algunas centrales en operación que tienen más de 100 años [2].

Por otra parte, las áreas de preocupación para los temas ambientales y sociales se relacionan por la falta de medidas de mitigación, indemnizaciones adecuadas, seguimiento y acumulación de impactos. Asimismo, en el desarrollo exitoso de un proyecto hidroeléctrico se debe reconocer la importancia en la atención de los derechos humanos [2]; en ese sentido, [3] consideran como un punto de partida para el desarrollo de la energía hidroeléctrica sustentable, la gestión integrada de recursos hidráulicos enfocados al conocimiento y racionalización del aprovechamiento de los recursos de las cuencas, además de la planeación en su desarrollo a fin de reducir su impacto. Por esta vía, la sustentabilidad hidroeléctrica está formada por tres componentes fundamentales:

- La viabilidad a largo plazo del proyecto hidroeléctrico.
- La contribución del proyecto al desarrollo sustentable.
- La integración de las diferentes perspectivas de la sustentabilidad (ambiental, social, económica, financiera, técnica y gobernanza).

## 1.1. Sustentabilidad hidroeléctrica

En la década de los noventa la atención se dirigía a los aspectos de sustentabilidad relacionados con la construcción de las presas y la generación de energía hidroeléctrica. A nivel internacional, una de las primeras iniciativas para definir el problema y las medidas de mitigación para hacerle frente, fue la implementación del acuerdo sobre tecnologías hidroeléctricas emitida por la International Energy Agency (IEA, por sus siglas en inglés). En este sentido, entre 1998 y 2000, otra contribución importante la ofreció la Comisión Mundial de Presas (WCD, por sus siglas en inglés), además del seguimiento y el progreso de los proyectos del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. En la segunda década del siglo XXI, la Asociación Internacional de Hidroelectricidad (IHA, por sus siglas en inglés) ofreció los instrumentos de mayor alcance e influencia que abordaron a la sustentabilidad en el sector de la hidroelectricidad [4].

El protocolo de evaluación de sustentabilidad hidroeléctrica [5], se benefició sustancialmente de muchas iniciativas más allá de la WCD, que acontecieron en la planificación de proyectos y el desempeño de la sustentabilidad hidroeléctrica. Dichas iniciativas incluyen los Principios de Ecuador, las normas internacionales de rendimiento de la International Finance Corporation (IFC, por sus siglas en inglés), las políticas multinacionales de seguridad de los bancos de desarrollo (Banco Mundial y Banco Asiático para el Desarrollo), el Global Reporting Initiative (GRI, por sus siglas en inglés), las herramientas de evaluación de Inversión Sustentable (por ejemplo, Dow Jones Sustainability Index, FTSE4Good), las mejores prácticas del sector hidroeléctrico, así como las experiencias empresariales con enfoques anuales de evaluación y presentación de informes de sustentabilidad. El Protocolo también incorpora la última experiencia en los procedimientos de gobernanza a nivel nacional, sectorial, institucional y de gestión de proyectos.

El Protocolo del IHA contiene las directrices de sustentabilidad con las dimensiones económicas, sociales y ambientales para los nuevos proyectos hidroeléctricos, así como los procesos de gobernanza y cuestiones técnicas en la operación de las centrales hidroeléctricas. Las evaluaciones de sustentabilidad de proyectos hidroeléctricos se realizan mediante un riguroso análisis de las evidencias objetivas, buscando cuidadosamente deficiencias clave, es un proceso basado en un profundo diálogo con el jefe del proyecto y la consulta con las partes interesadas pertinentes. Además, en su etapa de planeación se requiere de análisis multicriterio en los temas de necesidad demostrada y ajuste estratégico; y emplazamiento y diseño para la toma de decisiones. El Protocolo de la IHA no pretende certificar empresas de energía en relación con los criterios de sustentabilidad, pero su mayor contribución es servir como guía para los gobiernos y planificadores en la toma de decisiones referente a la viabilidad de un proyecto en las dimensiones de la sustentabilidad, con una metodología para medir el riesgo e informar de los puntos fuertes, y de los impactos negativos del proyecto, lo que permite la comparación cuantitativa y cualitativa de los proyectos hidroeléctricos [4].

## 1.2. La hidroelectricidad en México

En México se presentan cambios en su parque de generación energía eléctrica bruta, de 2002 al 2017 pasó de 200.362.388 MWh a 257.416.682 MWh, lo que representa un 22,16 % de incremento, se presentaron cambios en la participación de la capacidad efectiva por tecnología eléctrica; la tecnología de ciclo combinado incrementó su participación del 21,99 % a un 49,88 %, lo que

representa un 27,89 %; las otras tecnologías que también incrementaron su participación fueron carboeléctrica, eólica, combustión interna y fotovoltaica. La tecnología de vapor redujo su participación del 39,58 % a un 16,14 %, lo que representa un -23,44 %; las otras tecnologías que también disminuyeron su participación fueron dual, turbogas, hidroeléctrica, nucleoeeléctrica y geotermoléctrica. En cuestión de la hidroelectricidad a pesar de incrementar su generación en un 9,6 % en este periodo, su participación se redujo al 11,68 % [6].

En México el instrumento de planeación del sector energético a largo plazo es la Estrategia Nacional de Energía (ENE) y la cual se renueva cada año a un horizonte de quince años [7]. Con la ENE y el Plan Nacional de Desarrollo [8], se construye el Programa Sectorial de Energía [9]. Con los anteriores documentos se realiza el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables [10]; a partir de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) [11] y la Ley General de Cambio Climático (LGCC) [12], se especifican los porcentajes de generación con fuentes fósiles del 65 % para 2024, del 60 % para 2035, y del 50 % para 2050; a su vez, la LGCC establece un indicador del 35 % de la contribución de tecnologías limpias para el año 2024.

Los desafíos que establecen estos objetivos para integrar las energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) serán enormes. La Prospectiva de Energías Renovables [13] pronostica alternativas bajas y altas, con capacidades de 31.147 MW y 38.146 MW correspondientemente para 2026, por otro lado, la Prospectiva del Sector Eléctrico [7] indica alternativas de 26.742 MW y 54.892 MW en el mismo periodo. En ambas prospectivas, dominan las grandes hidroeléctricas y centrales eólicas. El incremento de la contribución de las energías renovables al SEN ocasionará cambios potenciales en la planeación energética, modificará los criterios de crecimiento del SEN, se modificarán las reglas de operación y control del SEN, y se requerirá de la creación de nuevos perfiles técnicos y de expertos [14].

Atendiendo el criterio del menor costo en el escenario de planeación, se imposibilita el crecimiento del SEN y el cumplir con el marco legal de la LAERFTE y la LCC, por lo anterior se promociona la integración de un conjunto de proyectos que agreguen los costos ambientales y de emisiones de carbono derivados de sus objetivos [7].

Una vez dada la introducción al problema de la sustentabilidad hidroeléctrica a nivel mundial y del marco jurídico en la planeación del sector energía en México, en cuanto a las energías renovables y limpias, se presenta a la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos (CPH) y la problemática que presentan sus proyectos hidroeléctricos.

### 1.2.1. Los proyectos hidroeléctricos de la CFE

La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos (CPH), perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la responsable de planear, diseñar, supervisar y construir las obras civiles y montaje electromecánico de la infraestructura hidroeléctrica requerida para cubrir la solicitud de energía hidroeléctrica en México [15]. Las decisiones para integrar nuevos proyectos para crecer el SEN se hacen con muchos años de antelación, son extensos los periodos de tiempo desde que se decide su planeación hasta su entrada a generar. Se lleva alrededor de cuatro a siete años el análisis

de las alternativas para tomar la decisión de construir una nueva central hidroeléctrica, hasta que inicia a generar. Así que, las disposiciones conllevan a una consecuencia económica de larga duración, ya que el tiempo de vida útil de las centrales hidroeléctricas puede ser mayor a 30 años [16].

Para [17], en los recientes años, se presentan demoras en los proyectos de generación eléctrica causado primordialmente por el incremento en los tiempos de tramitación de licencias de uso de suelo y permisos ambientales; aclaraciones con las comunidades indígenas afectadas; restricciones en autorizar inversiones; diferimientos en la ejecución de los trabajos constructivos; complicaciones de carácter social con autoridades municipales y propietarios de los terrenos. Con base en los cambios de la esperanza de crecimiento económico del país, que incurre de manera directa en la apreciación de la demanda eléctrica, como parte del proceso de planeación cada año se actualiza la cartera de los proyectos que entrarán a generar energía. Al observar los proyectos hidroeléctricos diferidos en los Programas de Requerimientos de Capacidad (PRC) del 2004 al 2013, se observa que, de los diecinueve proyectos programados en este periodo, solo se construyeron los Proyectos Hidroeléctricos El Cajón, en 2007, el de La Yesca en 2013 y, en 2015, se inició el proceso de construcción de Chicoasén II.

### 1.3. Pregunta de investigación

A partir de esta problemática, se propuso armonizar las funciones de planeación, sus impactos sociales y ambientales, se buscó complementar la evaluación de los proyectos hidroeléctricos, dejar de ser únicamente técnico–económica a una evaluación técnico–económica–social–ambiental y de gobernanza, que permita mejorar la toma de decisiones desde una visión de desarrollo sustentable. Desde este enfoque se generó la pregunta de investigación ¿cómo determinar las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica al cuestionar a un grupo heterogéneo de expertos en la planeación de proyectos hidroeléctricos?

Para atender este cuestionamiento se presenta el marco teórico, fundamentado en los métodos AHP y GP extendido; posteriormente se da a conocer la aplicación de estos métodos y el instrumento de medición encaminados a la toma de decisiones en los proyectos hidroeléctricos en México y, finalmente, se incluyen los resultados obtenidos, así como las conclusiones.

## 2. Marco teórico

La CPH cuenta con una cartera de proyectos hidroeléctricos, los cuales, por los impactos sociales y ambientales han ocasionado retrasos en su construcción o que sean diferidos. Por esto ya no se pueden tomar las decisiones sustentadas solamente en la parte técnico-económica de los proyectos, se requiere que estas sean más integrales desde una perspectiva de sustentabilidad hidroeléctrica, mediante la combinación de métodos AHP–GP que consigan la opinión de expertos heterogéneos en la planeación de proyectos hidroeléctricos.

### 2.1. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Con el propósito de afrontar problemas con múltiples criterios y una cantidad determinada de alternativas, [18] presentó el AHP, este método permite fraccionar y organizar la problemática de

manera gráfica y ordenar las jerarquías. A través de comparaciones pareadas pares, establece la jerarquía e influjo de las fracciones que integran la problemática, expone reflexiones de valor que se contrastan, empleando la escala fundamental, criterios cuantitativos y cualitativos. Asimismo, accede a contrastar la consistencia de las reflexiones de valor y contribuye a mejorar la toma de la decisión [18]. Emplea escalas numéricas fundamentales para las comparaciones pareadas (Tabla I) que reflejan pensamientos, juicios e intuiciones [19].

**Tabla I.** Escala fundamental para comparaciones por pareadas.

Calificación numérica	Escala verbal de la preferencia	Definición
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro.
7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
8	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro.
2, 4, 6, 8	Términos medios	Valores intermedios, que se emplean para expresar preferencias que se encuentran entre dos de las indicadas anteriormente.

Fuente: [20] citado por [19].

Para el cálculo del autovector o vector propio, se multiplica al cuadrado una matriz A de tamaño específico, a continuación, se debe normalizar las sumas de las filas para cada elemento de la matriz y de esta forma se obtiene el valor del autovector.

Para obtener el autovalor, despejar  $\lambda_{max}$  de la siguiente fórmula (1):

$$A \cdot x = \lambda_{max} \cdot x \tag{1}$$

Donde,

A, matriz recíproca de comparaciones pareadas

X, vector propio

$\lambda_{max}$ , máximo valor propio

Cabe señalar, que existen por naturaleza juicios aleatorios en la toma de decisiones; los cuales en teoría se deben minimizar para que la decisión que se tome sea consistente, no obstante; es complicado pensar en alcanzar dentro de una investigación.

Resulta muy complicado alcanzar una consistencia exacta en los juicios para la toma de decisiones; sin embargo, es posible disminuir sus inconsistencias; con ese fin, se determina la inconsistencia global de los juicios a través de la proporción de consistencia, dicho porcentaje no debe superar el 10%. Lo anterior obedece al tamaño de la matriz de comparaciones pareadas. El CI se calcula de la siguiente fórmula (2):

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \tag{2}$$

Donde,

$n$ , tamaño de la matriz

$CI$ , Índice de Consistencia

$\lambda_{max}$ , máximo valor propio

La razón de consistencia  $CR$  (Consistency Ratio), se debe determinar para que los valores que superen el 10 % constituyan una inconsistencia en el cálculo de los juicios y deban reevaluarse hasta conseguir coherencia y consistencia. El cálculo se efectúa con base en los valores mostrados en la Tabla II.

**Tabla II.** Índice de Consistencia Aleatorio

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Consistencia Aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51

Con estos valores se determina la  $CR$  a través del cociente entre el  $CI$  e  $IA$ , tal como se muestra en la fórmula (3) [21]–[23]:

$$CR = \frac{CI}{IA} \quad (3)$$

Donde,

$CR$ , Razón de Consistencia

$CI$ , Índice de Consistencia

$IA$ , Índice de Consistencia Aleatoria

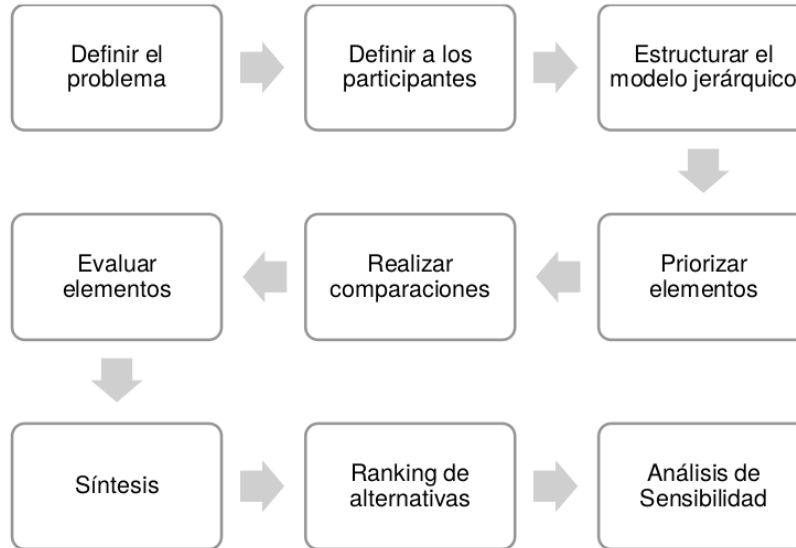
Una vez calculados los índices  $IC$  e  $IA$ , se determina la Razón de Consistencia  $CR$ , (Consistency Ratio). Los resultados pueden ser  $CR \leq 0,10$  o  $CR > 0,10$ . En el caso que el  $CR$  sea mayor al 0,10 significa que los juicios establecidos son inconsistentes, las prioridades obtenidas son inválidas en la toma de decisiones y se deberá revisar los juicios instaurados. Si el  $CR$  es igual o menor a 0,10 significa que la consistencia de las comparaciones es aceptable, las prioridades calculadas son válidas y aceptadas para la toma de decisiones.

La utilidad del AHP no se limita a ser utilizado con criterios y alternativas intangibles, por lo tanto, se utiliza para resolver problemas de toma de decisiones multicriterio, que son problemas de elección donde se evalúan las alternativas con respecto a varios criterios que pueden ser cualitativos, cuantitativos o la combinación de ambos. También, el AHP tiene el poder de tomar decisiones en grupo que permite a los tomadores de decisiones construir funciones de bienestar grupal que no violenten las condiciones de la dirección y fortalezcan las negociaciones y el aprendizaje cognoscitivo [24].

### 2.1.1. Etapas del AHP

El método AHP, a través de la elaboración de un modelo de jerarquías, logra de modo eficiente y visual ordenar los elementos de un problema complejo de decidir, descomponer y analizar cada

parte, representar las consecuencias de las modificaciones en las diferentes etapas y simplificar. Intenta fraccionar la problemática y después integrar todos los posibles resultados de las subproblemáticas en una sola solución. La metodología de trabajo y el procedimiento se plantea en la Figura 1.



**Figura 1.** Esquema de metodología de trabajo AHP. Fuente: elaboración propia basándose en [25]–[27].

Para [25]–[27], el AHP establece las siguientes etapas:

- Definir el problema: en esta etapa se especifica el objetivo del proceso de toma de decisiones en conjunto con los participantes. Además, se debe realizar una descripción del contexto del problema.
- Definición de los participantes: los participantes deben ser diligentemente escogidos, ya que de ellos depende la representatividad del modelo.
- Estructurar el modelo de jerárquico: construir una estructura jerárquica que esté conformada por el objetivo, los criterios, subcriterios y alternativas. Para esto se requiere, en primer lugar, definir los criterios. Estos criterios son a nivel superior y constituyen el objetivo buscado. Una vez realizado lo anterior, se llega a un nivel o niveles específicos (subcriterios) que facilita el análisis y comprueban las alternativas.
- Priorizar elementos: con la información recabada o la recopilación del conocimiento de los participantes se integran los juicios para cada comparación pareada de los criterios y subcriterios.
- Realizar comparaciones: se inicia en el primer nivel donde se encuentran los criterios, se compara su importancia relativa con respecto al logro del objetivo, luego se desciende con los subcriterios, efectuando comparaciones pareadas de los criterios y subcriterios.
- Evaluar elementos: las alternativas son evaluadas con base en los subcriterios, los cuales facilitan su tratamiento. A continuación, se calculan las prioridades locales y globales de cada elemento. Finalmente, se realiza una ponderación final en función del objetivo.



- Síntesis: a través de las comparaciones pareadas y a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer las prioridades para las diferentes alternativas.
- Ranking de alternativas: se construye un *ranking* de prioridades para las diferentes alternativas, obedeciendo a la problemática presentada, seleccionando la mejor alternativa.
- Análisis de sensibilidad: este análisis permite representar y comparar la sensibilidad del resultado respecto a posibles cambios en la priorización de los criterios [27]. Esta situación puede modificar el orden de las alternativas, a través de diferentes escenarios se determinan los límites para priorizar cada criterio [25].

El AHP es un instrumento metodológico que se ha aplicado en diversos países para integrar las predilecciones de los participantes incluidos en una problemática o en un procedimiento grupal de toma de decisiones.

## 2.2. Agregación de preferencias

El AHP puede ser aprovechado de manera particular o en grupo, con la participación de grupos de expertos, obteniendo un resultado final que será la solución que integre la opinión de aquellos. De acuerdo con [28], se puede calcular la agregación de la opinión para cada uno de los expertos de dos maneras:

- Expertos homogéneos: son expertos que integran un grupo que entre ellos tienen similitudes como la formación académica, el lugar de trabajo y el objetivo de su trabajo.
- Expertos heterogéneos: son expertos que integran a un grupo que posee un punto de vista distinto. Esto se debe a diferencias de su formación académica, por situaciones políticas, entre otras circunstancias.

### 2.2.1. Agregación de preferencias para expertos homogéneos

El método AHP, cuando persigue alcanzar una solución única la agregación se realiza de dos maneras:

- Agregación de Juicios Individuales (AIJ). Desde las comparaciones pareadas individuales de cada experto, se elabora la matriz de comparaciones pareadas del grupo de expertos.
- Agregación de Prioridades Individuales (AIP). Desde las matrices de comparaciones individuales de cada experto a través de la mediante la media geométrica se obtienen las prioridades del grupo.

Para [29] la Agregación de Juicios Individuales (AJI) se utiliza cuando se asume que el grupo funciona como un nuevo y único individuo. La fórmula (4) de la media geométrica es la siguiente:

$$(a_{ij}^1 * a_{ij}^1 * \dots * a_{ij}^N)^{1/N} \quad (4)$$

Si se compara el elemento  $i$  con el elemento  $j$ , si  $a_{ij}^1, a_{ij}^2, \dots, a_{ij}^N$  son los juicios individuales de los integrantes de los grupos 1, 2, ...,  $N$  respectivamente, posteriormente, el valor combinado del

juicio se ingresará en la matriz de comparación pareadas de los grupos [20].

Para este trabajo se selecciona el método AIP por su frecuencia de empleado, pues mantiene la estructura recíprocamente simétrica de las matrices de juicio [29].

### 2.2.2. Agregación de las preferencias para expertos heterogéneos

Cuando el método AHP se encuentra con grupos de expertos con una discrepancia entre sus ponderaciones y lo que ambicionan, encontrar una solución que no sea idónea, sino encontrar un abanico de soluciones donde se logre valorar las diferentes sensibilidades de un problema, en esta situación se empleará el método de programación por metas [29].

## 2.3. Programación por metas

La programación por metas fue publicada por [30], como una prolongación de la programación lineal que abarca múltiples criterios. Es empleada cuando se tiene el conflicto de lograr multi objetivos en el mismo periodo de tiempo, para conseguirlo, el tomador de decisiones elige por proximidad metas preseleccionadas, disminuyendo su desviación. El GP pretende encontrar soluciones compromiso que, aunque no satisfagan todas las metas, sí permiten alcanzar ciertos niveles de satisfacción. La GP se ha combinado con otros métodos, como es el AHP [31].

### 2.3.1. GP extendido con AHP

Por otro lado, cuando existe un grupo de expertos con discrepancias importantes en sus opiniones, pero que quieren lograr una solución que no sea única, sino alcanzar un abanico de soluciones que muestre las diferentes sensibilidades de un problema planteado, en este caso se utilizará el método GP extendido.

### 2.3.2. GP extendido para un grupo heterogéneo de expertos

En algunas evaluaciones pueden coincidir grupos distintos de evaluadores que tienen intereses no compatibles. Por ejemplo: en la evaluación ambiental, como un espacio natural se encuentran valores distintos de acuerdo con la formación de los evaluadores sociales que participan (administradores, técnicos, empresarios, ecologistas). En estos casos fueron estudiados por [32], [33], se precisaron las matrices pareadas y los vectores propios de cada uno de los expertos que se concentran por similitud de la jerarquización y por grupo para obtener un vector agregado mediante la media geométrica. Conjuntadas las diferentes opiniones incorporadas en los vectores propios agregados, se realizó otra agregación de los grupos usando esta vez la Programación por Metas Extendida, con lo que se logró saber la solución más próxima a la opinión emitida por los diferentes expertos, así como establecer los resultados más próximos a la opinión de cada grupo de expertos. Por lo tanto:

- Para agregar predilecciones de grupos homogéneos se emplea la media geométrica.
- Para agregar predilecciones de grupos heterogéneos, con opiniones distintas, se emplea la Programación por Metas (GP) extendida. Las fórmulas (5) que se incluyen enseguida se emplean con ese propósito.

$$\min(1 - \lambda) * D + \lambda = \sum_{i=1}^Q (n_i + p_i) \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^q (n_{i1} + p_{i1}) - D \leq 0 \\ & \quad \vdots \\ & \sum_{i=1}^q (n_{m1} + p_{m1}) - D \leq 0 \\ & w_i^s + n_{ij} - p_{ij} = w_i^s \quad i \in \{1, \dots, q\}, j \in \{1, \dots, m\} \\ & \sum_{i=1}^q (n_{i1} + p_{i1}) - D_1 = 0 \\ & \quad \vdots \\ & \sum_{i=1}^q (n_{im} + p_{im}) - D_1 = 0 \\ & \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m (n_{ij} + p_{ij}) - Z = 0 \end{aligned}$$

Donde,

$D$  = Distancia máxima.

$w_i^s$  = Ponderación de cada experto por variable.

$n_{ij}$  = Desviaciones negativas de la ponderación agregada.

$p_{ij}$  = Desviaciones positivas de la ponderación agregada.

$w_i^j$  = Ponderación agregada de cada una de las variables.

$Z$  = Sumatoria de las desviaciones.

$\lambda$  = constante (para cada valor de esta constante el modelo cambia).

Si  $\lambda = 0$  emplear el GP MINMAX.

Si  $\lambda = 1$  emplear el GP ponderado.

Asignando valores entre cero y uno a  $\lambda$  para calcular diversas soluciones.

Según [34]–[36], existen otros métodos de agregación de preferencias propuestas por otros autores, como la media aritmética o la media geométrica [28], [37], [38]. Aquí se eligió la solución propuesta mediante GP ya que, de esta manera, la solución final viene dada por la mediana, lo que permite que se vea menos afectada por datos o apreciaciones anómalas cuya existencia puede darse con relativa frecuencia en estos casos.

Para resolver problemas de GP extendido se empleó la herramienta de modelado LINGO.

### 2.3.3. Software LINGO

LINGO (LINear Generalize Optimizer) es un software de modelado de optimización para programación lineal, no lineal e integral. LINGO facilita un paquete integrado que incluye un potente lenguaje para expresar modelos de optimización, un ambiente con todas las funciones para construcción y edición de problemas, y un conjunto de solucionadores rápidos incorporados, capaces de resolver de manera eficiente la mayoría de las clases de los modelos de optimización [39].

## 2.4. Aplicación del método AHP – GP

En la literatura reciente se encontraron referencias que plantean la combinación de los métodos AHP y GP para la resolución de problemas relacionados con múltiples decisiones, por ejemplo, [38] para realizar una síntesis de decisión grupal de expertos basado en el principio de Bridgman; [40] para la selección de una casa por parte de un comprador con una serie de factores cualitativos y cuantitativos; [41] para la selección de escenarios del ciclo óptimo de combustible nuclear en Corea; [42] para ayudar a seleccionar el instrumento de control de calidad para la recopilación de información de los clientes; [43] para seleccionar la tecnología integrada en la fabricación de computadoras entre competidores; [44] para la selección de proveedores de literatura; [34] para encontrar el valor económico de un componente ambiental y sus valores parciales que lo integran; [45] para seleccionar proveedores con una variedad de factores cualitativos y cuantitativos; [46] para mejorar la evaluación de proveedores y las decisiones de asignación de pedidos de una cadena de suministro; [47] para la valorización de bienes inmuebles con información limitada en Varsovia; [48] desarrolló un modelo para diseñar y explicar la gestión de costos en la industria de electrodomésticos en Irán; [49] para seleccionar la planificación de los proyectos ferroviarios en Estambul; [50] para seleccionar la estrategia de mantenimiento en las centrales hidroeléctricas que tienen gran importancia en la combinación energética mundial y de Turquía; y [51] propone un modelo para seleccionar nuevos lugares adecuados para la eliminación de desechos infecciosos.

Como se observa, la revisión de los trabajos anteriores permitió identificar que no hay una aplicación directa del AHP-GP para la sustentabilidad hidroeléctrica, de aquí la importancia que tiene aplicarlo de manera individual o colectiva. En esta última, puede inmiscuirse un grupo de expertos heterogéneo que obtienen una solución útil, como consecuencia de la opinión de todos los expertos [31].

## 2.5. Índice Kappa

Desde su introducción en 1960, el coeficiente Kappa se convirtió en el estadístico para la evaluación de acuerdos entre jueces. [52] obtuvo la probabilidad de concordancia entre jueces; dicha probabilidad fue acreditada como el coeficiente Kappa de Cohen, es un estadístico de concordancia entre jueces que corrige el azar. Para [53], el coeficiente de Kappa es una escala de -1 a 1, donde uno indica un acuerdo perfecto, 0 es exactamente lo que se esperaría por la casualidad, y los valores negativos indican que el acuerdo obtenido será menor que el obtenido al azar, es decir, un desacuerdo sistemático potencial entre los observadores. Para facilitar su interpretación [54], propusieron la escala de valoración del coeficiente de Kappa que se indica en la Tabla III.

**Tabla III.** Guía de interpretación del coeficiente de Kappa.

<b>Kappa</b>	<b>Pobre /nulo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Justo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Fuerte</b>	<b>Casi perfecto</b>
	<b>0,0</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>1,0</b>
Kappa	Grado de acuerdo					
<0	Acuerdo menos que lo casual					
0,01 a 0,20	Poco acuerdo					
0,21 a 0,40	Acuerdo justo					
0,41 a 0,60	Acuerdo moderado					
0,61 a 0,80	Acuerdo sustancial					
0,81 a 0,99	Acuerdo casi perfecto					

Fuente: [53] en base en [54].

Al ser una probabilidad, toma su valor en el intervalo entre cero y uno. Esta se representa con la fórmula (6) siguiente:

$$K = (P_o - P_c)/(1 - P_c) \tag{6}$$

Donde,

$P_o$ , proporción de concordancia observada

$P_c$ , proporción esperada por el azar

$K$ , Coeficiente de Kappa

$P_o$  se obtiene sumando los elementos de la diagonal (7):

$$P_o = \sum_{k=1}^q P_{kk} \tag{7}$$

$P_c$  se calcula sumando el producto de las sumas marginales (8):

$$P_c = \sum_{k=1}^q P_k + p + k \tag{8}$$

El grado de concordancia esperable por azar se puede calcular a partir del producto de los marginales de la matriz de confusión [55].

El coeficiente de Kappa fue empleado en el análisis de decisiones multicriterio para verificar la exactitud en los métodos en la toma de decisiones multicriterio, por ejemplo, [56] para la optimización multi-objetivo de las especificaciones técnicas y el mantenimiento utilizando algoritmos genéticos; [57] en utilizar el sistema de información geográfica en un proyecto mini-hidroeléctrico; [58] en evaluar el potencial hidroeléctrico usando GIS y la técnica de modelado hidroeléctrico; [59] para índices de consistencia para matrices de comparación pareadas; [60] ayudar a los tomadores de decisión sobre los proyectos petroleros y de gas basados en la teoría de juegos; [61] en la combinación de métodos Fuzzy y AHP para evaluar la aptitud de la tierra para el cultivo de cebada; y [62] para analizar y modelar la expansión urbana descontrolada y los cambios en el uso de la tierra en una ciudad en desarrollo.

Después de exponer la descripción del problema, así como los métodos AHP y GP, en seguida, se presenta su aplicación a grupos de expertos heterogéneos, con el objeto de obtener las ponderaciones de las perspectivas de sustentabilidad hidroeléctrica.

### 3. Materiales y métodos

La investigación realizada se espera que ayude a los tomadores de decisión en seleccionar los proyectos hidroeléctricos, por lo que en el trabajo de campo se empleó una encuesta para determinar las ponderaciones de los cinco criterios del modelo jerárquico de sustentabilidad hidroeléctrica (Figura 2).

Con base en lo anterior, el procedimiento incluyó los criterios seleccionados para la valoración, determinados con base en las perspectivas del Protocolo del IHA [5] para la sustentabilidad hidroeléctrica como sigue:

- **Económica:** se refiere a la viabilidad económica, incluye el análisis de costos y beneficios de los proyectos; la evaluación se hace en términos económicos o con documentos del tipo cualitativos o cuantitativos.
- **Técnica:** se refiere a la valoración de las alternativas para satisfacer las necesidades energía y agua que toman en cuenta diferentes opciones de planeación y distintas alternativas de diseño y construcción.
- **Ambiental:** se refiere a las cuestiones de la biodiversidad terrestre y acuática, especies en riesgo de extinción, hábitats en riesgo, integridad de los ecosistemas y aspectos de calidad del agua, conectividad, erosión y sedimentación.
- **Social:** se refiere a aspectos de los poblados indígenas, reasentamientos humanos, comunidades impactadas, minorías étnicas, patrimonio cultural y salud pública.
- **Gobernanza:** se refiere a la planeación, dirección y seguimiento del proyecto para la consecución de sus objetivos. También trata los aspectos de comunicación y consulta; evaluación y gestión de los impactos social y ambiental; y evaluación de los servicios energéticos e hídricos.

En este caso, se identificaron veinticuatro subcriterios (temas) en la etapa de preparación del Protocolo del IHA [5], en la perspectiva de gobernanza, el tema de evaluación y gestión del impacto social y medioambiental, se consideró necesario separar la parte social y medio ambiental (Figura 2), ya que se presentan diferencias en la gestión de estos temas en los proyectos hidroeléctricos.

Una de las etapas más importantes del método AHP, reside en estructurar la jerarquización del problema, que está integrada por el objetivo, los criterios, los subcriterios y las alternativas.

#### 3.1. Instrumento de medición

La encuesta fue el instrumento que se empleó para conseguir las matrices pareadas, requeridas en el método AHP que se describe; esto permitió determinar la importancia de cada criterio de

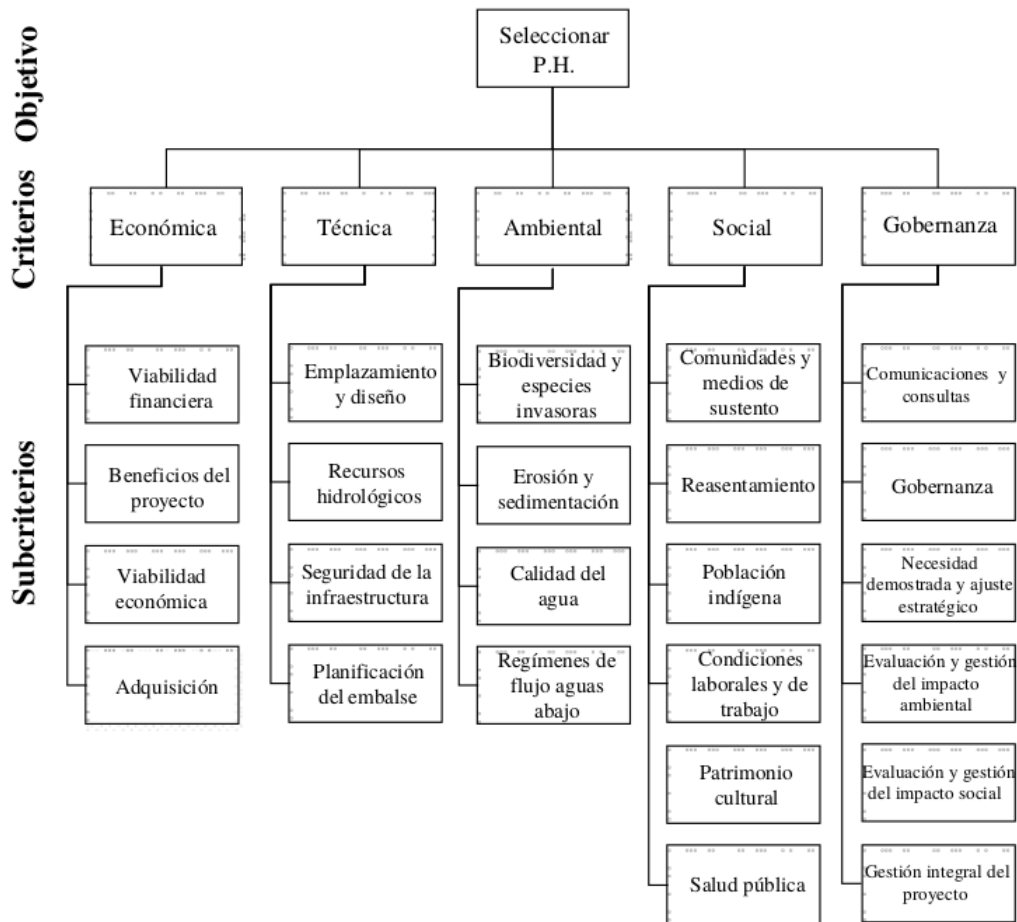


Figura 2. Árbol de Jerarquías de Sustentabilidad Hidroeléctrica.

sustentabilidad hidroeléctrica (Anexo 1). Previo a la aplicación definitiva de la encuesta se realizó una prueba piloto a un grupo de dieciocho individuos, a los que se aplicaron tres distintos diseños experimentales de la encuesta, con el objetivo de seleccionar el diseño que menor confusión presentara y arrojara la mayor consistencia.

El cuestionario fue validado por parte de seis expertos, tres expertos en hidráulica, dos en metodología y uno en métodos multicriterio. Finalmente, los expertos coincidieron en que el cuestionario era válido y aplicable; pero que necesitaba mejora. Por lo anterior, se mejoró el diseño del cuestionario, se elaboró una guía con ejemplos del llenado del cuestionario (Anexo 1) y se le adicionó una tabla de transitividad para ayudar a los participantes a respetar la jerarquía de las preferencias.

### 3.1.1. Colectivo

En el AHP lo primordial son los conocimientos, la experiencia y la importancia del grupo encuestado, que la cantidad de personas a entrevistar. El AHP examina a expertos referentes al objeto de estudio. Las investigaciones de tipo cuantitativo aceptan el muestro por conveniencia [63], considerando que deben buscar las unidades más representativas y convenientes para el estudio [64]. De agosto a octubre, 2017, la encuesta se aplicó de manera personalizada y por correo electrónico, con una duración media de veinte minutos por encuestado. Debido a la complejidad de los proyectos

hidroeléctricos y a sus características e implicaciones políticas y sociales, se consideró oportuno realizar la encuesta a un grupo de expertos que cubriera las distintas áreas implicadas en la planeación de proyectos hidroeléctricos. Por lo que las personas encuestadas fueron 64, agrupadas de acuerdo con su especialidad.

Asimismo, la bondad de una muestra no probabilística en un estudio es que no necesita de una representatividad de los integrantes de una población, sino de una selección de elementos o personas con ciertas particularidades especificadas relacionadas al planteamiento de la problemática [65].

El grupo de expertos está integrado por diversos profesionales como: antropólogos, biólogos, sociólogos, ingenieros ambientalistas, ingenieros industriales, ingenieros civiles, ingenieros en hidráulica, ingenieros eléctricos, ingenieros electromecánicos, economistas, administradores de empresas; haciendo que se presente una diversidad de criterios y punto de vista diferentes sobre la jerarquía de cada criterio y subcriterios, inclusive dentro de cada especialidad. De los 64 expertos, 41 de ellos tienen estudios a nivel licenciatura, 21 a nivel de maestría y dos cuentan con doctorado. Su experiencia en la planeación de proyectos hidroeléctricos oscila entre los 4,59 y 26,67 años, con promedio de experiencia de 10,70 años. El 22 % son mujeres y el 78 % son hombres.

De este modo, se consideraron expertos del proceso de planeación responsables en la toma de decisiones y de quienes, directa e indirectamente, inciden en ella. Para esto se tienen cinco grupos de expertos:

- Económicos: 6
- Técnicos: 38
- Ambientales: 6
- Sociales: 7
- Gobernanza: 7

Por último, se obtuvieron mediante la media geométrica los vectores propios. Posteriormente se planteó el modelo de GP extendido que permitió encontrar la solución útil e identificar al grupo que la propone.

## 4. Resultados

El análisis de los resultados aborda los siguientes aspectos:

- Resultados de la encuesta. Determinar la consistencia de los resultados de las comparaciones pareadas mediante la escala de Saaty (Tabla IV).
- Formar grupos por especialidad y nivel jerárquico para identificar al grupo que propone la mejor solución.



**Tabla IV.** Radio de consistencia de las encuestas.

Encuesta	CR	Encuesta	CR	Encuesta	CR
1	0,0000	23	0,0703	45	0,0781
2	0,0000	24 *	0,1739	46	0,0888
3	0,0415	25	0,0787	47	0,0000
4	0,0108	26	0,0572	48	0,0000
5	0,0000	27	0,0984	49	0,0957
6	0,0801	28	0,0420	50	0,0553
7	0,0709	29	0,0504	51	0,0681
8	0,0959	30	0,0745	52	0,0310
9	0,0901	31	0,0734	53	0,0695
10	0,0373	32	0,0918	54	0,0963
11	0,0433	33	0,0977	55	0,0306
12	0,0985	34	0,0358	56	0,0788
13	0,0489	35	0,0831	57	0,0577
14	0,0125	36	0,0240	58 *	0,2202
15	0,0663	37	0,0853	59	0,0000
16	0,0272	38	0,0881	60	0,0922
17	0,0681	39	0,0944	61	0,0353
18	0,0880	40	0,0819	62	0,0986
19	0,0000	41	0,0612	63	0,0258
20	0,0999	42	0,0000	64	0,0689
21	0,0537	43	0,0749		
22	0,0621	44	0,0404		

Se observa en la Tabla IV que, a excepción de los encuestados 24 y 58 (en cursivas y marcadas con un \*), que obtuvieron un CR superior a 10 % y fueron inconsistentes, los demás alcanzaron un CR inferior o igual al 10 %. Esto dejó un total de 62 encuestas consistentes (97 %) que se agruparon según la especialidad de los encuestados en: económico, técnico, ambiental, social y gobernanza.

#### 4.1. Resultados por grupos de expertos homogéneo por especialidad

Para cada grupo de expertos se calcularon los vectores propios agregados a través de la media geométrica [18]. Se emplea la Agregación de Prioridades Individuales (AIP) para determinar el vector propio de cada matriz de los grupos de expertos, a continuación, se obtienen la media geométrica de los diferentes vectores, los resultados ya normalizados, en la Tabla V se muestra AIP para el grupo de expertos económicos.

La agregación de los expertos económicos se realizó mediante la media geométrica:

El vector propio agregado de la perspectiva económica = media geométrica (0,382; 0,478; 0,345; 0,274; 0,327; 0,487) = 0,3740

El vector propio agregado de la perspectiva técnica = media geométrica (0,331; 0,059; 0,345; 0,406; 0,032; 0,049) = 0,128

**Tabla V.** Matriz de comparación pareada del Grupo de Expertos Económicos.

Perspectivas	Vectores propios por número de encuesta						Vector propio Agregado	Vector agregado normalizado
	7	15	36	46	49	64		
<b>Económica</b>	0,382	0,478	0,345	0,274	0,327	0,487	0,374	0,450
<b>Técnica</b>	0,331	0,059	0,345	0,406	0,032	0,049	0,128	0,153
<b>Ambiental</b>	0,152	0,134	0,073	0,160	0,108	0,158	0,126	0,152
<b>Social</b>	0,103	0,295	0,073	0,055	0,108	0,272	0,124	0,149
<b>Gobernanza</b>	0,031	0,035	0,163	0,104	0,426	0,035	0,080	0,097
	<b>Sumatoria</b>						0,832	1,000

El vector propio agregado de la perspectiva ambiental = Media geométrica (0,152; 0,134; 0,073; 0,160; 0,108; 0,158) = 0,126

El vector propio agregado de la perspectiva social = media geométrica (0,103; 0,295; 0,073; 0,055; 0,108; 0,272) = 0,124

El vector propio agregado de la perspectiva de gobernanza = media geométrica (0,031; 0,035; 0,163; 0,104; 0,426; 0,035) = 0,080

El resultado no está normalizado, la sumatoria del vector propio agregado es 0,832, se necesita normalizado con la suma, como se indica en la columna del vector agregado normalizado la Tabla V.

En cada grupo se calcularon los vectores propios mediante la media geométrica. Los valores normalizados de todos los grupos se presentan en la Tabla VI.

**Tabla VI.** Vectores propios por grupo de expertos.

Expertos por especialidad	Vectores propios				
	Económica	Técnica	Ambiental	Social	Gobernanza
Económico	0,4498	0,1533	0,1517	0,1486	0,0967
Técnico	0,2959	0,1987	0,1684	0,2198	0,1172
Ambiental	0,1910	0,1447	0,2063	0,2076	0,2504
Social	0,1390	0,0991	0,2297	0,2685	0,2638
Gobernanza	0,2880	0,2101	0,1451	0,1929	0,1638

En Tabla VI se presentan los resultados por grupo de expertos: los expertos económicos y técnicos le dan mayor prioridad a la perspectiva económica y menor prioridad a la de gobernanza; los expertos ambientales le dan mayor prioridad a la perspectiva de gobernanza y menor prioridad a la técnica; los expertos sociales le dan mayor prioridad a la perspectiva social y menor prioridad a la técnica; finalmente los expertos en gobernanza le dan mayor prioridad a la perspectiva económica y menor prioridad a la ambiental.

Al comparar los resultados de los cinco grupos de expertos utilizando una matriz de concordancia (Tabla VI), se obtiene un Índice Kappa de 92,82 por ciento de confiabilidad, por lo que el grado de concordancia es casi perfecto como se indica en la Tabla III.

#### 4.1.1. Aplicación de GP extendido a grupos de expertos heterogéneo por especialidad

Se buscó la solución más próxima a la opinión emitida por los grupos de expertos por especialidad y determinar la solución más cercana a la opinión de cada grupo. Aquí también se planteó el modelo de GP extendido (5), se obtuvieron tres soluciones en función de  $\lambda$  (Tabla VII) mediante el software LINGO [66].

**Tabla VII.** soluciones en función de  $\lambda$  con LINGO [66].

$\lambda$	w1	w2	w3	w4	w5	Z	D	D1	D2	D3	D4	D5
0	0,29440	0,19845	0,13345	0,18485	0,15215	2,3040	0,15440	0,15540	0,03495	0,10340	0,15540	0,01165
0,1	0,29440	0,19330	0,13860	0,19000	0,14700	2,3040	0,15440	0,15440	0,02980	0,10340	0,15540	0,01680
0,2-1	0,28280	0,20490	0,13990	0,18770	0,15860	2,2460	0,16700	0,16700	0,04140	0,09180	0,14380	0,00520

La solución fue la que presenta los valores de  $\lambda$  entre 0,2 a 1, en este intervalo se consiguió un valor mínimo de Z de 2,2460. Esta solución fue la más próxima a las opiniones emitidas por el grupo de expertos en gobernanza (D5). Al tomar en cuenta la mejor solución, la ponderación de las perspectivas de sustentabilidad hidroeléctrica se incluye en la Tabla VIII.

**Tabla VIII.** Ponderación final de las perspectivas de sustentabilidad hidroeléctrica.

Perspectiva	Ponderación	Ponderación normalizada
Económica	0,2828	0,29038
Técnica	0,2049	0,21039
Ambiental	0,1399	0,14365
Social	0,1877	0,19273
Gobernanza	0,1586	0,16285
	0,9739	1,0000

Las ponderaciones de la Tabla VIII señalan que la perspectiva mejor posicionada fue la económica, ya que obtuvo una prioridad de 29,038 %. Enseguida se ubicó la perspectiva técnica con una prioridad de 21,039 %. Finalmente, la perspectiva en el nivel más bajo fue la ambiental, con una prioridad de 14,365 %.

#### 4.2. Análisis de las soluciones

Los resultados de las 62 encuestas se organizaron en cinco grupos por especialidad. Mediante los modelos de media geométrica y GP extendido se encontró la solución útil para el grupo. En seguida, los resultados obtenidos de los grupos se comparan, enfatizando la solución que más se acerque a la opinión de cada uno de los grupos de expertos (Tabla IX).

Al comparar la solución útil con los resultados de los cinco grupos se observa que la opinión más cercana a la solución es la del grupo de expertos de gobernanza que obtuvo una diferencia de 0,00525. Por lo anterior, se afirma que la encuesta aplicada a este grupo presentó opiniones dispares. Lo anterior permitió validar el empleo de los métodos multicriterio AHP y GP extendido para determinar ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica mediante la encuesta a grupos heterogéneos de expertos.

**Tabla IX.** Comparación de la solución con los resultados de los grupos de expertos

Valores	Especialidad					
	Solución	Económico	Técnica	Ambiental	Social	Gobernanza
Económica	<b>0,29038</b>	0,44976	0,29586	0,19102	0,13900	0,28801
Técnica	<b>0,21039</b>	0,15331	0,19874	0,14474	0,09908	0,21013
Ambiental	<b>0,14365</b>	0,15166	0,16840	0,20630	0,22967	0,14512
Social	<b>0,19273</b>	0,14861	0,21978	0,20759	0,26848	0,19294
Gobernanza	<b>0,16285</b>	0,09667	0,11722	0,25035	0,26378	0,16379
<b>Diferencia</b>		<b>0,33477</b>	<b>0,11456</b>	<b>0,33001</b>	<b>0,52538</b>	<b>0,00525</b>

## 5. Conclusiones

Los expertos en la planeación de proyectos hidroeléctricos son cada vez más conscientes sobre el desarrollo sustentable y del equilibrio que deben guardar los proyectos. La parte social de un proyecto hidroeléctrico es transcendental para poder construir las nuevas centrales hidroeléctricas. Una buena gestión e involucramiento de las partes interesadas ayudará a mejorar la toma de decisiones para seleccionar el mejor proyecto hidroeléctrico sustentable.

Los métodos AHP-GP son un enfoque que consiguen recabar la opinión de un grupo de expertos heterogéneo y así determinar las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica mediante encuestas. El AHP permite el uso del pensamiento racional y argumentos lógicos para seleccionar criterios y determinar ponderaciones a través de comparaciones pareadas, mientras que el GP permite que obtener una solución útil de grupos heterogéneos al encuestarlos. En este contexto, se apoya del índice Kappa para evaluar los acuerdos entre jueces, y que fue empleado en otros estudios de toma de decisiones multicriterios para verificar su exactitud del método.

En relación al análisis de resultados realizado se determinó que el grupo de expertos en gobernanza es el que proponen la solución más próxima a la opinión emitida de cada grupo. De las ponderaciones obtenidas, la perspectiva mejor posicionada fue la económica con un 29,04 %, posteriormente siguió, en orden descendente, la técnica con 21,04 % y finalmente la perspectiva con la menor ponderación fue la ambiental con 14,36 %.

Al pilotear la encuesta en tres ocasiones y someterla a la validez de juicios de expertos, se logró que el cuestionario fuera válido y aplicable, mejorando los diseños propuestos anteriormente [28], [31], obteniendo un 97 % de cuestionarios consistentes. De acuerdo con [67], un estudio o encuesta permite obtener altos valores en validez o confiabilidad, si el diseño del estudio y el empleo de métodos estadísticos apropiados forman parte fundamental en el logro de buenos resultados.

Al cuestionar al grupo de expertos heterogéneo para determinar las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica, se observó que se presentan acuerdos significativos entre los grupos al momento de asignar las ponderaciones, al presentar un índice Kappa = 0,9282, lo cual llama

la atención por tratarse de grupos de expertos heterogéneos, ya que se esperaba un desacuerdo mayor por ser profesionales de diferentes disciplinas.

La investigación proporciona apoyo a quienes buscan evaluar la sustentabilidad de proyectos hidroeléctricos mediante el protocolo del IHA y la combinación de técnicas de toma de decisiones multicriterio empleadas para obtener las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica. Sin embargo, en investigaciones futuras debe centrarse en comparar nuestros resultados con los resultados de otros grupos de expertos en diferentes contextos de los proyectos hidroeléctricos.

De los resultados del análisis de sensibilidad paramétrica y de cómo afecta en la toma de decisiones para seleccionar los proyectos hidroeléctricos sustentables, se deberá realizar un análisis donde se contemplen las ponderaciones de los subcriterios y alternativas (proyectos hidroeléctricos) que integran el árbol de jerarquías de sustentabilidad hidroeléctrica, así como comparar los resultados obtenidos con el método *fuzzy opinion*, elementos que quedan como tareas pendientes.

Teniendo en cuenta lo anterior, como posibles trabajos futuros se recomienda el uso de un método integrado por AHP-GP en el análisis de la toma de decisiones para proyectos de gran envergadura, se hace recomendable su aplicación en otros escenarios de energía, como los siguientes: comparar proyectos eléctricos de diferentes fuentes de energía y con criterios sustentabilidad energética; y definir políticas públicas para generar energías renovables y seguridad energética. Asimismo, se propone incluir para futuras investigaciones en los grupos de expertos a los responsables de establecer las políticas públicas y de la planeación en materia de energía, así como a expertos académicos en temas sociales y ambientales.

## Referencias

- [1] IEA, World Energy Outlook 2014: *Secure Sustainable Together*. International Energy Agency, Paris, 2014 ↑117
- [2] A. Kumar, T. Schei, A. Ahenkorah, R.C. Rodriguez, J. Devernay, M. Freitas y Z. Liu, *Hydropower: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. 2011. ↑117
- [3] H. Locher y A. Scanlon, “Sustainable Hydropower-Issues and Approaches”. In H. Samadi (Ed): *Hydropower – Practice and Application*. InTech. 2012, pp. 1 -22. <https://doi.org/10.5772/31768> ↑117
- [4] E. Grisales y J. Murillo, “El mercado de bonos de carbono y su aplicación para proyectos hidroeléctricos”. *Revista CINTEX*, Volumen 18, 2014, pp. 131-143. ↑118
- [5] IHA, *Protocolo de evaluación de la sostenibilidad de la hidroelectricidad*. Asociación Internacional de la Energía Hidroeléctrica, London, 2010. ↑118, 129
- [6] SENER, *Sistema de Información Energética (SIE)*, 2018, [En línea], disponible en <http://sie.energia.gob.mx/> ↑119
- [7] Secretaría de Energía (SENER), *Estrategia Nacional de Energía 2013 – 2027*, 2013. ↑119
- [8] Poder Ejecutivo Federal (PEF), *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. 2013. “85 ↑119
- [9] Poder Ejecutivo Federal (PEF), *Programa Sectorial de Energía 2013-2018*. 2013. “36 ↑119
- [10] Poder Ejecutivo Federal (PEF), *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*, 2014. “54 ↑119
- [11] Poder Ejecutivo Federal (PEF), *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. 2013. “16 ↑119
- [12] Poder Ejecutivo Federal (PEF), *Ley General de Cambio Climático en México*. 2018. “58 ↑119
- [13] Secretaría de Energía (SENER), *Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027*. 2013. ”230 ↑119
- [14] J. Huacuz, “El inventario de las energías renovables en el marco de la transición energética de México”. *Boletín IIE*, Volumen 1, 2013, pp. 92-100. ↑119

- [15] CPH, *LM 5000 Manual del Sistema de Gestión Integrado*. 8 ed., Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, México, 2012. ↑119
- [16] CFE, *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012- 2026*. Comisión Federal de Electricidad, México, 2011. ↑120
- [17] CFE, *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico: POISE 2014-2028*. Comisión Federal de Electricidad. Subdirección de Programación, México, 2014. ↑120
- [18] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, reprinted by RWS Publication, New York, Pittsburgh, 1980. ↑120, 121, 132
- [19] A. Casañ, “La decisión multicriterio: aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación”, Tesis de máster, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2013. ↑121
- [20] T Saaty, *Toma de decisiones para líderes: el proceso analítico jerárquico en la toma de decisiones en un mundo complejo*. RWS Publications, Pittsburgh, 1997. ↑121, 125
- [21] D. Maurtua, “Criterios de selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico. Aplicación en la selección de personal para la empresa Exotic Foods SAC”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2006. ↑122
- [22] H. Márquez, “Métodos matemáticos de evaluación de factores de riesgo para el Patrimonio Arqueológico: una aplicación Gis del método de jerarquías analíticas de TL Saaty”. *Spal*, Volumen 6, 1999, pp. 21-37. <https://doi.org/10.12795/spal.1999.i8.02> ↑122
- [23] R. Ávila, “El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras. El caso de Brasil”. *Informe técnico. Proyecto Regional Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible (Proyecto Gcp/Rla/126/Jpn)*. Santiago, Chile, 2000. ↑122
- [24] J. Moreno y L. Vargas, L. G. “Decisión Multicriterio Cognitiva y el Legado del Proceso Analítico Jerárquico”. *Estudios de Economía Aplicada*, Volumen 36, 2018, pp. 67-80. ↑122
- [25] S. Arancibia, E. Contreras, S. Mella, P. Torres y I. Villablanca, “Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva”, Memoria de Ingeniería Civil Industrial Universidad de Chile, Santiago, 2003. ↑123, 124
- [26] T.L. Saaty y L.G. Vargas, *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer, 2012. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6> ↑123
- [27] J. González, “Toma de decisiones. Proceso Analítico Jerárquico aplicado a la selección de herramienta de educación virtual”. *FPUNE Scientific*, Volumen 6, No. 6, 2014. ↑123, 124
- [28] J. Aznar y F. Guijarro, *Nuevos métodos de valoración. Modelos Multicriterio*. 2 ed., Editorial Universitat Politècnica de València, 2012. ↑124, 126, 135
- [29] E. Forman y K. Peniwati, “Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process”. *European Journal of Operational Research*, Volumen 108, No. 1, 1998, pp. 165-169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0) ↑124, 125
- [30] A. Charnes, W., Cooper y R. Ferguson, “Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming”. *Management Science*, Volumen 1, No. 2, 1955, pp. 138-151. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1.2.138> ↑125
- [31] J. Aznar y V. Estruch, *Valoración de Activos Ambientales*. Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2015. ↑125, 127, 135
- [32] D. Reyna y I. Cardells “Valoración AHP de los ecosistemas naturales de la Comunidad Valenciana”. *Revista Valenciana D’Estudis Autonomics*, No. 27, 1999, pp. 153-179. ↑125
- [33] P. Linares y C. Romero, “Aggregation of preferences in an environmental economics context: a goal-programming approach”. *Omega*, Volumen 30, No. 2, 2002, pp. 89-95. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(01\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(01)00059-7) ↑125
- [34] J. Aznar y V. Estruch, “Valoración de activos ambientales mediante métodos multicriterio. Aplicación a la valoración del Parque Natural del Alto Tajo”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, Volumen 7, No. 13, 2007, pp. 107-126. <https://doi.org/10.7201/earn.2007.13.06> ↑126, 127
- [35] R. Aull-Hyde, S. Erdogan, and J. Duke, “An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP”. *European Journal of Operational Research*, Volumen 171, 2006, pp. 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.06.037> ↑126
- [36] R. Ramanathan and L. Ganesh, “Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members’ weightages”. *European Journal of Operational Research*, Volumen 79, 1994, pp. 249-265. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90356-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90356-5) ↑126

- [37] J. Aczél and T. Saaty, "Procedures for synthesizing ratio judgements". *Journal of Mathematical Psychology*, Volumen 27, 1983, pp. 93-102. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(83\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0022-2496(83)90028-7) ↑126
- [38] S. Gass y T. Rapsák, "A note on synthesizing group decisions". *Decision Support Systems*, Volumen 22, No. 1, 1998, pp. 59-63. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(96\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(96)00061-9) ↑126, 127
- [39] LINDO-Systems, *Products: LINGO Optimization Modeling*, 2019, [En línea] disponible en <https://www.lindo.com/index.php/products/lingoand-optimization-modeling> ↑127
- [40] M. Schniederjans, J. Hoffman y G. Sirmans, "Using Goal Programming and the analytic hierarchy process in house selection". *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, Volumen 11, No. 2, 1995, pp. 167-176. <https://doi.org/10.1007/BF01098660> ↑127
- [41] P. Kim, K., Lee, y B. Lee, "Selection of an optimal nuclear fuel cycle scenario by goal programming and the analytic hierarchy process". *Annals of Nuclear Energy*, Volumen 26, No. 5, 1999, pp. 449-460. [https://doi.org/10.1016/S0306-4549\(98\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0306-4549(98)00081-4) ↑127
- [42] M. Badri, "A combined AHP-GP model for quality control systems". *International Journal of Production Economics*, Volumen 72, No. 1, 2001, pp. 27-40. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00077-3) ↑127
- [43] M. Yurdakul, "Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volumen 20, No. 4, 2004, pp. 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2003.11.002> ↑127
- [44] S Perçin, "An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection". *Measuring Business Excellence*, Volumen 10, No. 4, 2006, pp. 34-49. <https://doi.org/10.1108/13683040610719263> ↑127
- [45] A. Mendoza, E. Santiago, y A. Ravindran, "A Three-Phase Multicriteria Method to the Supplier Selection Problem". *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, Volumen 15, No. 2, 2008, 195-210. ↑127
- [46] A. Erdem y E. Göçen, "Development of a decision support system for supplier evaluation and order allocation". *Expert Systems with Applications*, Volumen 39, 2012, pp. 4927-4937. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.10.024> ↑127
- [47] D. Kozioł-Kaczorek, "The Use of Combined Multicriteria Method for the Valuation of Real Estate". *Studia Ekonomiczne*, Volumen 5, No. 71, 2014, pp. 219-235. <https://doi.org/10.15290/ose.2014.05.71.16> ↑127
- [48] S. Kambiz, Y. Saeed, y K. Mohsen, "A Mathematical Model Designing to Achieve Cost Management in Value Chain with Combinational Approach of AHP & GP (Case Study: Home Appliance Industries)". *SOCRATES: An International, Multi-lingual, Multi-disciplinary, Refereed peer-reviewed, Indexed Scholarly journal*, Volumen 4, 2016, pp. 30-51. ↑127
- [49] M. Hamurcu, H. Alağaç y T. Eren, "Selection of rail system projects with analytic hierarchy process and goal programming". *Sigma*, Volumen 8, 2017, pp. 291-302. ↑127
- [50] E. Özcan, S. Ünlüsoy, y T. Eren, "A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 78, 2017, pp. 1410-1423. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.039> ↑127
- [51] N. Wichapa y P. Khokhajaikiat, "Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers". *Operations Research Perspectives*, Volumen 4, 2017, pp. 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2017.03.002> ↑127
- [52] J. Cohen, "A coefficient of agreement for nominal scales". *Educational and psychological measurement*, Volumen 20, No. 1, 1960, pp. 37- 46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104> ↑127
- [53] A. Viera y J. Garrett, "Understanding interobserver agreement: the kappa statistic". *Fam Med*, Volumen 37, No. 5, 2005, pp. 360-363. ↑127, 128
- [54] J. Landis y G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data". *Biometrics*, 1977, pp. 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310> ↑127, 128
- [55] J. Latour, V. Abairra, J. Cabello y J. Sánchez, "Las mediciones clínicas en cardiología: validez y errores de medición". *Revista Española de Cardiología*, Volumen 50, No. 2, 1997, pp. 117-128. [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(97\)73190-7](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(97)73190-7) ↑128
- [56] S. Martorell, J. Villanueva, S. Carlos, Y. Nebot, A. Sánchez, J. Pitarch, y V. Serradell, "RAMS+C informed decision-making with application to multi-objective optimization of technical specifications and maintenance using genetic algorithms". *Reliability Engineering & System Safety*, Volumen 87, No. 1, 2005, pp. 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.res.2004.04.009> ↑128

- [57] P. Rojanamon, T. Chaisomphob y T. Bureekul, "Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydro- power project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 13, No. 9, 2009, pp. 2336-2348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.003> ↑128
- [58] B. Kusre, D. Baruah, P. Bordoloi y S. Patra, "Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India)". *Applied Energy*, Volumen 87, No. 1, 2010, pp. 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019> ↑128
- [59] M. Brunelli, L. Canal y M. Fedrizzi, "Inconsistency indices for pairwise comparison matrices: a numerical study". *Annals of Operations Research*, Volumen 211, No. 1, 2013, pp. 493-509. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1329-0> ↑128
- [60] L. Castillo, y C. Dorao, "Decision-making in the oil and gas projects based on game theory: Conceptual process design". *Energy Conversion and Management*, Volumen 66, 2013, pp. 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.09.029> ↑128
- [61] S. Hamzeh, M. Mokarram y S. Alavipanah, "Combination of Fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: Case Study of semiarid lands in the southwest of Iran". *Desert*, Volumen 19, No. 2, 2014, pp. 173-181. ↑128
- [62] M. Tajbakhsh, H. Memarian y. Shahrokhi, "Analyzing and modeling urban sprawl and land use changes in a developing city using a CA- Markovian approach". *Global Journal of Environmental Science and Management*, Volumen 2, No. 4, 2016, pp. 397-410. ↑128
- [63] R. Schwab, *Twenty years of policy recommendations for indigenous education: overview and research implications*. Centre for Aboriginal Economic Policy Research, Australian National University, Australian, 1995. ↑130
- [64] I. Grande y E. Abascal, *Fundamentos y Técnicas de Investigación Comercial*. ESIC Editorial, Madrid, 2015. ↑130
- [65] Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*. Mc Graw-Hill, México, 2010. ↑131
- [66] LINDO Systems INC, *LINGO 15. Version API: 9.0.2120.232*, 2015, [En línea], disponible en <http://www.lindo.com> ↑134
- [67] S. Huck, *Reading Statistics and Research*. 6 ed, Pearson Education Limited, New York, 2013. ↑135

---

### José Andrés Gómez Romero

Maestro en Ingeniería Industrial del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y candidato a doctor en Ciencias Administrativas del IPN, Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), Unidad Santo Tomás. Representante de la Dirección de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos (CPH) perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Correo electrónico: andres.gomez02@cfe.gob.mx

---

### Rocío Soto Flores

Doctora en Administración y Dirección de Empresas, de la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Investigadora de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Comercio y Administración Unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (México).

Correo electrónico: mrsoto@ipn.mx

---

### Susana Garduño Román

Doctora de la Universidad de Londres Inglaterra. Jefa de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación y docente de la Escuela Superior de Comercio y Administración (ESCA), Unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (México).

Correo electrónico: sgarduno@ipn.mx



## Anexo 1

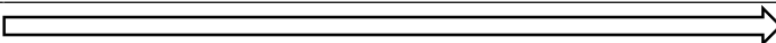
### Cuestionario de sustentabilidad hidroeléctrica

El objetivo de esta encuesta determinar el valor de las perspectivas de sustentabilidad hidroeléctrica (económica, técnica, ambiental, social, y gobernanza). Para ello se requiere de los conocimientos y experiencia de expertos en estos temas.

La metodología empleada se fundamenta en el método Analítico Jerárquico del Proceso (AHP), el cual consiste en conseguir las matrices de comparaciones pareadas mediante comparaciones a través de diferentes elementos. Para realizar las comparaciones se emplea la escala fundamental de Saaty.

Determine el orden de importancia de las perspectivas de Sustentabilidad Hidroeléctrica. Coloque la primera perspectiva en importancia en la columna de la izquierda del cuadro a Tabla 1, continúe con la siguiente en importancia y colóquela en siguiente columna adjunta, hasta terminar con la de menor importancia en la columna de la derecha. Si considera que dos perspectivas son iguales, escriba el signo de igual entre ambas.

**Cuadro 1.** Transitividad de perspectivas

ORDEN DE IMPORTANCIA				
Mayor				Menor

Una vez ordenadas las perspectivas, compare dos en dos utilizando la escala fundamental de Saaty, según su importancia desde el punto de vista de Sustentabilidad Hidroeléctrica.

Preguntas: Comparar dos en dos utilizando la escala fundamental de Saaty, según su importancia desde el punto de vista de Sustentabilidad Hidroeléctrica.

**A: Económica**

**B: Técnica**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
	2	3	4	5	6	7	8	9
¿Cuánto más?	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Económica**

**B: Ambiental**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
	2	3	4	5	6	7	8	9
¿Cuánto más?	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Económica**

**B: Social**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
	2	3	4	5	6	7	8	9
¿Cuánto más?	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Económica**

**B: Gobernanza**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
	2	3	4	5	6	7	8	9
¿Cuánto más?	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Técnica**

**B: Ambiental**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
	2	3	4	5	6	7	8	9
¿Cuánto más?	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Técnica**

**B: Social**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
¿Cuánto más?	2	3	4	5	6	7	8	9
	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Técnica**

**B: Gobernanza**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
¿Cuánto más?	2	3	4	5	6	7	8	9
	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Ambiental**

**B: Social**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
¿Cuánto más?	2	3	4	5	6	7	8	9
	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Ambiental**

**B: Gobernanza**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
¿Cuánto más?	2	3	4	5	6	7	8	9
	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>

**A: Social**

**B: Gobernanza**

¿Cuál es más importante?	<input type="checkbox"/> A		<input type="checkbox"/> B		<input type="checkbox"/> Son igual de importantes			
¿Cuánto más?	2	3	4	5	6	7	8	9
	Igual – Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada <input type="checkbox"/>	Moderada-Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte <input type="checkbox"/>	Fuerte – Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte <input type="checkbox"/>	Muy Fuerte-Extrema <input type="checkbox"/>	Extrema <input type="checkbox"/>