

DOI: 10.35319/acta-nova.20236

## ACTA NOVA

Revista de Ciencias y Tecnología

Carrera Planificación del Territorio y Medio Ambiente de la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba Bolivia

Correspondencia:

Luz Lucy Fernández-Ríos  
luz.fernandez@umss.edu

## Modelo multivariado de impactos socio-ambientales en proyectos hidroeléctricos en zonas de montaña

*Multivariate model of socio-environmental impacts in hydroelectric projects in mountain areas.*

Luz Lucy Fernández-Ríos

**Resumen:** Como efecto del cambio climático y la escasez de recursos finitos de combustibles fósiles del mundo, la explotación del recurso agua para la generación de electricidad toma relevancia por medio de la planificación de proyectos hidroeléctricos como fuente de energía renovable. Si bien los estudios de investigación relacionados a la viabilidad ambiental cuestionan la construcción de proyectos hidroeléctricos de embalse, existe un escaso registro de experiencias concretas en Bolivia sobre la implementación de proyectos Hidroeléctricos en zonas de montaña, situación que se aborda a través del concepto de Desarrollo Sostenible (DS).

El desarrollo del estudio, parte de una evaluación de los componentes físicos bióticos/abióticos y socioeconómico de un proyecto hidroeléctrico en zona de montaña, valora los impactos ambientales con base a una metodología de EIA combinada, que emplea herramientas informáticas como la Plataforma de Jerarquización GIS WEB y software EABACO, que permiten el desarrollo de funciones de transformación y posibilitan la jerarquización de los componentes de medio afectado, entre ellos la Biodiversidad. La aplicación de la técnica de Análisis Multicriterio (AMC) se realiza a través del método NAIADE, que involucra e integra múltiples perspectivas para modelar: i) el comportamiento de los elementos del medio en una misma cuenca o zona geográfica y ii) los componentes del medio entre proyectos hidroeléctricos de embalse emplazados en diferentes zonas geográficas, que representan las variables del modelo en relación a alternativas de ubicación.

Producto de la modelación, se presenta un ordenamiento ambiental que determina que el uso de métodos de AMC responde con mayor precisión a determinar el impacto ambiental generado por proyectos hidroeléctricos en zonas de montaña, conforme a sus características técnicas-ecosistémicas.

**Palabras claves:** Desarrollo Sostenible, Evaluación de Impacto Ambiental, Análisis Multicriterio, Ordenamiento ambiental.

### 1 Introducción

La Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 y Acuerdo de París determinan que la descarbonización es un camino que seguir, el cual enfrenta múltiples desafíos, entre ellos,

**Abstract:** As an effect of climate change and the scarcity of the world's finite fossil fuel resources, the exploitation of water resources for the generation of electricity becomes relevant through the planning of hydroelectric projects as a source of renewable energy. Although research studies related to environmental viability question the construction of reservoir hydroelectric projects, there is little record of concrete experiences in Bolivia on the implementation of Hydroelectric projects in mountain areas, a situation that is addressed through the concept of Development. Sustainable (DS).

The development of the study, part of an evaluation of the physical biotic/abiotic and socioeconomic components of a hydroelectric project in a mountain area, assesses the environmental impacts based on a combined EIA methodology, which uses computer tools such as the GIS Hierarchization Platform EABACO WEB and software, which allow the development of transformation functions and makes it possible to prioritize the components of the affected environment, including Biodiversity. The application of the Multicriteria Analysis (MCA) technique is carried out through the NAIADE method, which involves and integrates multiple perspectives to model: i) the behavior of environmental elements in the same basin or geographical area and ii) the components of the average between hydroelectric reservoir projects located in different geographical areas, which represent the variables of the model in relation to alternatives and/or possible locations.

As a result of the modeling, an environmental ordering is presented that determines that the use of AMC methods responds more precisely to determining the environmental impact generated by hydroelectric projects in mountain areas, according to their technical-ecosystem characteristics.

**Keywords:** Sustainable Development, Environmental Impact Assessment, Multicriteria Analysis, Environmental ordering.

conciiliar esfuerzos para lidiar simultáneamente contra el cambio climático, el desarrollo energético y una transición justa. Por esta razón, es necesario establecer metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de proyectos hidroeléctricos que incluyan técnicas que

sustituyan o mejoren métodos clásicos e interpreten escenarios.

La sostenibilidad ambiental de los proyectos hidroeléctricos establecidos en zonas de montaña no ha sido referenciada de manera puntual en estudios de evaluación de impactos ambientales, pero varios autores catalogan a los proyectos hidroeléctricos en su etapa de construcción como parte de un “conflicto de interfaz” (Kishor Mahato, B., & Ogunlana, S. O. 2011). Es decir, estos se hallan asociados a políticas gubernamentales y que a nivel de Latinoamérica han estado tipificados por la construcción de grandes presas que evidencian la vinculación que existe entre los graves impactos ambientales y la violación a los derechos humanos (Castro, Meyèn y Ospina, 2019).

En el ámbito académico, diversas investigaciones cuestionan la compatibilidad ambiental que se tiene en la implementación de proyectos hidroeléctricos de represas de embalse o desvíos de los cursos de agua para la generación de energía, aspectos que en el marco del discurso del Desarrollo Sostenible genera controversia, ya que varios autores argumentan que el desarrollo de proyectos a gran escala genera impactos socio ambientales al medio humano como al natural, catalogados principalmente como negativos (Gómez D., 2002) y a través del concepto de Sustentabilidad Energética (Vallejo, M. C. , 2013).

El estudio de investigación ha sido desarrollado en el marco del Programa Mibio “*Improved biodiversity conservation and management through monitoring of ecological and social impacts of hydropower megaprojects in Bolivia (2020 – 2023)*”, bajo convenio suscrito entre las universidades UNIBONN de Alemania y UCB-UMSS.

### 1. Planteamiento del Problema

Debido al elevado potencial hidroeléctrico de Bolivia, los recursos hidro energéticos se presentan como una solución eficiente y efectiva de generación de energía renovable, donde el ecosistema andino montañoso se identifica como un lugar estratégico de generación de hidroenergía. En consecuencia, es fundamental reconocer que la energía hidroeléctrica está disponible en una amplia gama de escalas y tipos de proyectos, los que pueden diseñarse para satisfacer necesidades particulares y condiciones específicas acorde a su lugar de emplazamiento e incluso pueden cubrir otras necesidades relacionadas al acceso a recurso agua para usos diversos y que se denominan Proyectos Multipropósitos en cuanto a provisión de agua, ya sea para consumo o para el desarrollo de prácticas agrícolas, en el marco de la seguridad alimentaria y que debido a la diversidad de condiciones topográficas del territorio boliviano, se

identifica a proyectos hidroeléctricos establecidos en ecosistemas de montaña como una opción sustentable, que en su mayoría definen el carácter multipropósito de estos. Con base a un Jerarquización de impactos socio ambientales generados por estos proyectos, es posible estimar su grado de sustentabilidad energética ya que estos se conciben como proyectos de alto impacto socio económico, para atenderán las necesidades de demanda de energía eléctrica de la población y contribuirán al cambio de la matriz energética del país con 1.599 MW hacia el año 2025. (Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, 2014, pág. 25).

En la perspectiva de construir una matriz energética neutra en emisiones de CO<sub>2</sub>, Bolivia cuenta con un elevado potencial de energía hidroeléctrica, que converge en la cuenca del amazonas, misma que se genera a partir de dos fuentes: i) una que parte de los cursos de agua con mayor afluente que provienen de ríos que circundan los departamentos de Pando y Beni, en tierras bajas y ii) del recurso hídrico del deshielo que desciende de la franja oriental de la cordillera de los Andes hacia los valles y cuenta con caídas de agua con pendiente elevada.

De esta forma, se establece que el mayor potencial hídrico de Bolivia se encuentra en la cuenca del Amazonas (Tabla 1) y que determina que Bolivia tiene el potencial de producir un 39.856,90 MW, de los cuales actualmente se aprovecha el 1,19% de este potencial hidroeléctrico.

Tabla 1. Potencial Hidro-energético de Bolivia por Cuenca, 2020. Fuente: Análisis premilitar de Proyectos Hidroeléctricos en Bolivia, 2020.

Cuenca	Potencia (MW)
Amazonas	34.208,5
Río de la Plata	5.359,9
Altiplano	288,5
Total	39.856,90

El gobierno boliviano ha establecido una política energética con base a los requerimientos de demanda de energía eléctrica del país, por medio de un planteamiento de una cartera de proyectos de generación y transmisión para la expansión de la infraestructura eléctrica, tomando en cuenta el potencial hidro-energético disponible, con base a Proyectos hidroeléctricos, que fueron seleccionados a partir de estudios realizados en diferentes etapas de pre inversión antes de la nacionalización, muchos de los cuales se encuentran en etapa de actualización y/o estudios de pre-factibilidad, para cubrir la demanda y brindar mayor seguridad y confiabilidad al Sistema Interconectado Nacional, tal como refleja el Plan

Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia – 2025 para el sector hidroeléctrico. Los proyectos emplazados en ecosistemas andino-montañosos y que forman parte de la

cartera de proyectos hidroeléctricos se presentan en tabla.2.

Tabla 2. Proyectos de generación hidroeléctrica establecidos en zonas de montaña.

PROYECTO	LOCALIZACIÓN	POTENCIA* MW	Capacidad de Embalse km <sup>2</sup>	Energía GWh	Zona Topográfica	Cuenca
Misicuni Fases I y II	Río Misicuni, Molle Molle - Cochabamba	120	4,60	217	Montaña	Río Misicuni
Complejo Corani San José	Ríos Málaga - Paracti, San José – Cochabamba	271	18	1.677	Montaña	Río Chapare
Ivirizu	Monte Punku- Cochabamba	290	1	1.190	Montaña	Río Ivirizu,
Rositas	Abapó - Santa Cruz	600	449	3.000	Montaña/Ilanura	Río Grande,

\*Valores serán ajustados a medida que se realicen los estudios de ingeniería a detalle.

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas. 2019

Estos proyectos tienen el fin de incrementar la capacidad de generación hidroeléctrica a corto, mediano y largo plazo, tal como el proyecto múltiple Misicuni con 80 MW en su primera fase y 40 MW en una segunda fase, así como el proyecto hidroeléctrico Ivirizu, actualmente en ejecución y el proyecto Rositas en etapa de diseño.

## 2 Objetivo

Determinar un modelo teórico multivariado de estimación del Impacto Socio-ambiental, para proyectos hidroeléctricos

## 3 Investigación aplicada a los conceptos de Evaluación de Impacto Ambiental y el Análisis Multicriterio

Siendo la investigación aplicada una forma de conocer las realidades con evidencia científica, se define el marco conceptual del presente estudio, que se sustenta en los conceptos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y en el método de Análisis Multicriterio (AMC).

La EIA es un instrumento de la política ambiental adoptado actualmente en numerosas jurisdicciones (países, regiones o gobiernos locales, así como por organizaciones internacionales como bancos de desarrollo y entidades privadas). Se reconoce en tratados internacionales como un mecanismo potencialmente muy eficaz de prevención de los daños ambientales y de promoción del desarrollo sustentable (Canter, 1997). Si bien la EIA no consigue el desarrollo sostenible “per se”, pero guía a los responsables de la toma de decisiones en esa dirección.

Incorpora los costos de las medidas de protección ambiental, pone a su disposición alternativas creativas y eficientes, y compatibiliza las acciones con los requisitos y exigencias. En esta línea conceptual, el estudio enfatiza tres aspectos importantes que considera la EIA, que son: a) la visión estratégica; b) la gestión y toma de decisión; y c) la participación ciudadana (Espinoza G, 2006). Cabe mencionar que, analizar la sustentabilidad ambiental de los proyectos hidroeléctricos es una práctica común que, si bien se constituye el soporte ambiental de la sustentabilidad energética y establece una estructura equilibrada del ecosistema intervenido que determina la viabilidad ambiental global de estos proyectos, esta no garantiza la viabilidad socio ambiental de los elementos del medio de manera particular e individual.

El AMC, denominado en inglés como *Novel Approach to Imprecise Assessment and Decisión Enviroments* (NAIADE), evalúa alternativas de acuerdo con criterios y toma en cuenta preferencias de distinta intensidad, evitando así que se seleccionen alternativas por diferencias pequeñas en su calificación. El método NAIADÉ, permite el uso de datos cualitativos, cuantitativos difusos, determinísticos y estocásticos, para que con base a una identificación de variables del entorno – factores ambientales del proyecto y los escenarios propuestos, se tenga un modelo de valoración ex ante y ex post.

La investigación toma como unidad de análisis al proyecto hidroeléctrico Ivirizu (PHI) que valida la metodología de EIA propuesta, para la aplicación del AMC se incluye al proyecto Hidroeléctrico Múltiple Rositas (PHR), ya que ambos proyectos han sido evaluados cuantitativamente y es posible demostrar que una metodología de EIA que contemple una jerarquización de los impactos socio ambientales y determine un valor de calidad ambiental neta, responde con mayor precisión a la dimensión ambiental, conforme a las características técnicas y

ecosistémicas del entorno intervenido y hace posible la aplicación de la técnica de AMC.

En consecuencia, a partir del presente marco teórico conceptual, es posible evaluar, jerarquizar y modelar los impactos socio ambientales con base a un estudio de caso establecido en un ecosistema andino montañoso.

#### 4 Metodología

El diseño de la investigación en un principio se torna descriptivo ya que considera diversas variables explicativas del entorno para comprobar y determinar los impactos socio ambiental que generan como efecto de la implementación de los proyectos hidroeléctricos. La jerarquización de los impactos involucra un procedimiento metodológico de Evaluación de impacto Ambiental que deriva en la determinación de variables socio ambientales componentes de un modelo multivariado que representa el grado de sustentabilidad ambiental de los proyectos en estudio y que caracterizan a proyectos hidroeléctricos de embalse establecidos en zonas de montaña. Esta información aporta al conocimiento del desarrollo

científico aplicado y académico de la UMSS en el marco del Desarrollo Energético Sostenible.

El estudio se desarrolla en dos fases: i) Propuesta y validación de la metodología de EIA, con base a una jerarquización de los factores ambientales que determine la calidad ambiental neta de los elementos y/o componentes del medio, partiendo del hecho de que no existe una metodología universal que pueda aplicarse a todos los tipos de Proyectos, en cualquier medio en el que se ubiquen (Canter, 1997) y ninguno que garantice la ausencia de incertidumbres (Tenney, Kværner, & Gjerstad, 2006), y ii) Desarrollo de la técnica de AMC partiendo de los valores de calidad ambiental, que se constituyen en variables socio ambientales componentes de un modelo teórico de estimación del Impacto Socio-ambiental multivariado, para proyectos hidroeléctricos establecidos en Ecosistemas de montaña y que modela el comportamiento de los elementos del medio en una misma cuenca o zona geográfica y de los componentes del medio entre proyectos hidroeléctricos de embalse emplazados en diferentes zonas geográficas. La metodología aplicada para las dos fases se presenta en la Figura 1.

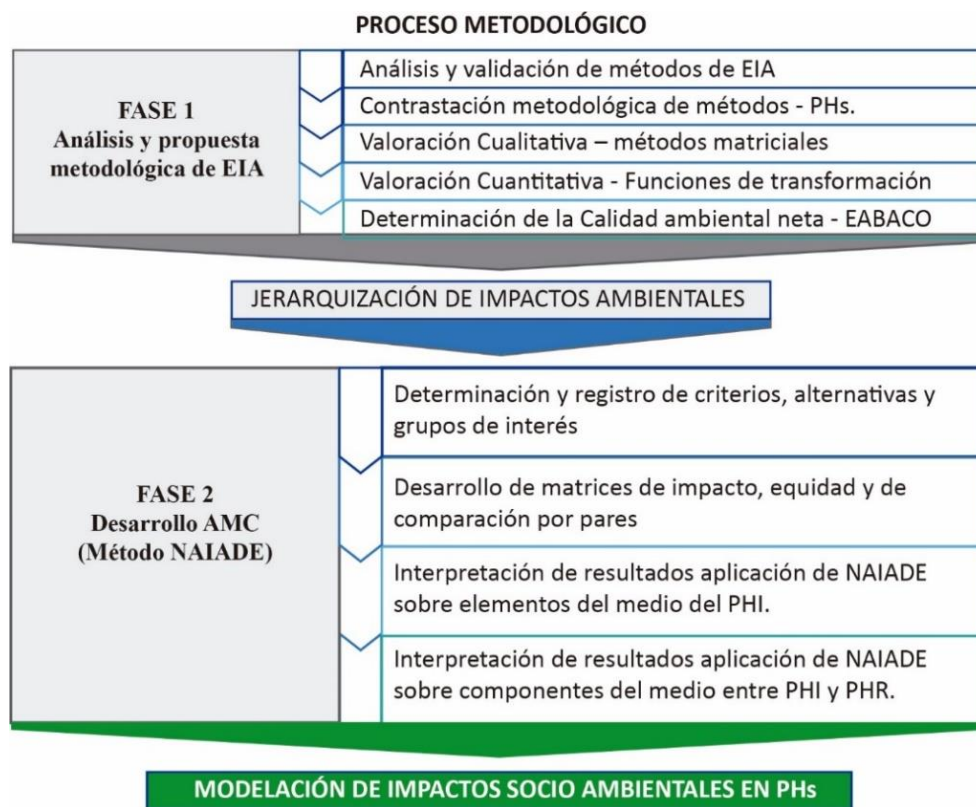


Figura 1. Metodología del estudio Fuente: Elaboración propia. 2023

#### 4.1 Fase de Análisis y propuesta de método de EIA

Se inicia con la validación de la información del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) del Proyecto de estudio de caso, verificando que este cumpla los requerimientos de la normativa ambiental, además de verificar que el diagnóstico ambiental registre información certificada como línea base del área de intervención del proyecto y validar los métodos de EIA aplicados considerando sus particularidades.

Para establecer el método de EIA se formula la siguiente pregunta ¿Cuál es el método más eficiente en la valoración de impactos socio ambientales ocasionados por la construcción y funcionamiento de los Proyectos Hidroeléctricos establecidos en zonas de montaña? A partir de esta pregunta se realiza una valoración que seleccione los métodos pertinentes de EIA aplicados a los proyectos hidroeléctricos, que se desarrolla con base a un análisis y selección de los siguientes parámetros de evaluación: i) Subjetividad del método: si además de una valoración cualitativa de impactos desarrolla una valoración cuantitativa, ii) Comparación de alternativas: si el método permite una contrastación entre proyectos similares, iii) Aplicación en proyectos hidroeléctricos: si se tiene registros en cuanto a su implementación en proyectos hidroeléctricos y iv) Temporalidad: en cuanto a la verificación de datos y proceso de validación.

Para la valoración cualitativa de impactos ambientales, se considera lo definido en la normativa boliviana que explicita los atributos ambientales relacionados a los componentes físico abiótico y biótico y socioeconómico, motivo por el cual se procede a una evaluación cualitativa de todos los impactos identificados en la matriz de Leopold y que representan la EIA del proyecto en análisis, procediendo a evaluar su impacto socio ambiental, por medio de la aplicación del método matricial de Conesa V. (2009), mismo método utilizado en el EEIA del proyecto, que contrasta y determina la valoración de los impactos socio ambientales que se ven afectados de manera directa e indirecta por las actividades del proyecto.

La valoración cuantitativa se desarrolla para los factores ambientales que fueron identificados en la valoración cualitativa como relevantes por que generan un impacto considerado como negativo para el medio ambiente. Para su determinación se aplica el método de Battelle – Columbus (1972), por medio del uso de Funciones de Transformación FT, para los factores ambientales que se identificaron como principalmente afectados y que se evalúa con base a índices determinados en las FT acorde a la legislación boliviana, por medio de criterios técnicos apropiados a estos parámetros y de resultados obtenidos de la plataforma de jerarquía de mitigación GIS WEB (2019), para aspectos de Biodiversidad.

Posteriormente, se aplica el software EABACO como herramienta que emplea de forma eficiente el método de Battelle-Columbus y que evalúa los impactos socio ambientes generados por el proyecto, determinando su viabilidad ambiental global, para su interpretación en el marco de la sustentabilidad energética y que representan una condición real de interacción entre la naturaleza y la sociedad humana, con especial énfasis en los aspectos espaciales (locales) y en la inclusión de perspectivas a corto y largo plazo, que se constituyen en evidencias de producto y son el resultado de la metodología empleada, que determina la Calidad Ambiental Neta (CAN).

#### 4.2 Fase de desarrollo del AMC - Método NAIADE

El proceso de evaluación multicriterio a través del método NAIADE aplicado a PHs de embalse en zonas de montaña, se inicia con el registro de datos de información de los criterios socio ambientales que componen los resultados de calidad ambiental jerarquizados para los factores y/o elementos del medio, datos que conceptualmente tienen su inicio en las funciones de transformación y permiten su valoración cuantitativa por medio del paquete computacional de Evaluación Ambiental EABACO. Seguidamente se registran los posibles lugares de emplazamiento del proyecto (Cuenca aledaña y/o ampliación aguas abajo), que en contrastación con la ubicación actual establecida para el proyecto objeto de estudio, representan las alternativas de evaluación del AMC. Esta contrastación implica el análisis y la variabilidad de los criterios socio ambiental jerarquizado en función de los posibles lugares de implementación, resultado que arroja el programa NAIADE en la Matriz de impacto. Posteriormente, se especifican los Grupos de interés que generan como resultado la matriz de equidad, para finalmente proceder con la comparación por pares con base a alternativas de evaluación en función a las variables socio ambientales empleadas para la matriz de impacto y cuyos resultados se plasman en la matriz de comparación por pares, información que se interpreta conforme a procedimiento establecido.

### 5 Resultados, análisis e interpretación

Se presentan con base a metodología propuesta e implementada para el Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu (EIA y AMC) y para el Proyecto Múltiple Hidroeléctrico Rositas (AMC).

#### 5.1 Resultados, análisis e interpretación de propuesta de método de EIA

El proyecto Hidroeléctrico Ivirizu - PHI, se emplaza en la cuenca Ivirizu y cuyas características biofísicas de la zona de intervención corresponde a un ecosistema de montaña.

El PHI se encuentra en etapa de construcción y tiene un avance del 80% registrado al inicio del primer semestre de la gestión 2023. La información requerida para el desarrollo del EIA se obtiene del EEIA y de informes de monitoreo ambiental, que con la ejecución y operación del PHI se aportará con 290,20 MW.

Para clasificar el tipo de riesgo del PHI, se considera la propuesta de la Comisión Internacional de Grandes

Represas - ICOLD, que de acuerdo con conclusiones del capítulo 4 de Identificación de los impactos ambientales del EEIA del PHI se identifican actividades susceptibles a causar impactos sobre diversos factores ambientales del proyecto, motivo por el cual se asigna al proyecto la categoría de pérdidas ambientales de riesgo significativo. Por lo tanto, el Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu requiere a una mitigación importante (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación del riesgo para proyecto Hidroeléctricos – ICOLD. Fuente: Elaboración propia con base a revisión bibliográfica, 2021.

CATEGORIA	A	B	C
<b>RIESGO</b>	ALTO	SIGNIFICATIVO	BAJO
<b>Pérdida directa de vidas</b>	Seguro (en uno o más desarrollos residenciales, comerciales o industrial)	Incierto (localización rural con pocas residencias y solamente desarrollo transitorio o industrial)	No se esperan (localización rural sin viviendas)
<b>Pérdidas de servicios esenciales</b>	Interrupción de instalaciones esenciales y vías de comunicación a niveles críticos	Interrupción de instalaciones esenciales y vías de comunicación	Ninguna interrupción de servicios, las reparaciones de los daños son simples o rápidas
<b>Pérdidas en propiedades</b>	Extensas sobre instalaciones públicas y privadas	Mayor afectación pública y en instalaciones privadas	Tierras agrícolas privadas, equipos y edificios aislados
<b>Pérdidas ambientales</b>	Alto costo de mitigación o imposible de mitigar	Se requiere una mitigación importante	Daño incremental mínimo

Asimismo, se procede a valorar los métodos apropiados de EIA, bajo un análisis de pertinencia de distintos métodos según revisión bibliográfica para su implementación Tabla 4.

Valoración que se efectúa con base a parámetros aplicados y que evidencian que, Battelle Columbus es el método pertinente para evaluar los proyectos hidroeléctricos, debido a que este método tiene un carácter cuantitativo y ha sido implementado con prioridad en proyectos hídricos

Tabla 4. Valoración de métodos de EIA. Fuente: Elaboración propia con base a revisión bibliográfica, 2021

Enfoque	Método de EIA	Parámetros de Valoración			
		No Subjetivo	Compara alternativas	Proyectos Hídricos	Considera la temporalidad
<b>Matrices Cualitativas</b>	Leopold				
	MEL-EN EL		✓		✓
	Arboleda				
<b>Matrices Cuantitativas</b>	Battelle	✓	✓	✓	✓
	Columbus				
<b>Matrices Mixtas</b>	Vicente Conesa	✓	✓		✓
	Gómez Orea	✓	✓		✓
	Duarte Oscar		✓		✓
<b>Mapas SIG</b>	Mac. Harg	✓	✓	✓	
<b>Consulta a Expertos</b>	Delphy				✓

De la valoración cualitativa, se determina que la presencia de la presa y las actividades relacionadas su consolidación, son las fuentes que ocasionan principalmente los impactos negativos y que aplican métodos cuantitativos, a través de las funciones de transformación y programa EABACO que aplica el método Batelle Collumbus y permite la jerarquización de los impactos socio ambientales. Resultados que se presentan en la Figura 2 y resumen la cantidad de impactos evaluados en el estudio de caso PHI.

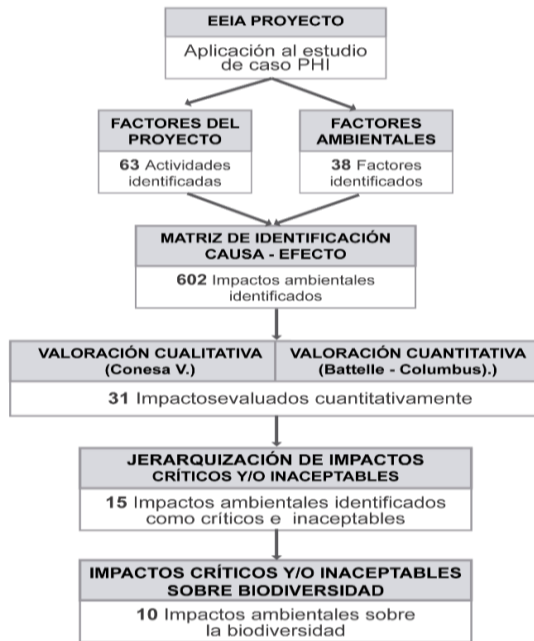


Figura 2. Resultados de la valoración cuali-cuantitativa PHI.

Como efecto de la evaluación cuali-cuantitativa aplicada al estudio de caso se determina que, la biodiversidad es el componente del medio ambiente más afectado con la implementación del proyecto y representa el 66% de los factores o elementos del medio identificados como críticos e inaceptables.

Asimismo, como ejemplo de una valoración cuantitativa, se presenta Ficha técnica de una de las funciones de transformación (Figura 3), fichas que se elaboraron para los 31 impactos valorados mediante el método Batelle Columbus, con base a datos insertos en línea base del EEIA del PHI, además de considerar resultados del reporte del GIS-WEB-WCS PLATAFORMA JERARQUÍA DE MITIGACIÓN

(arcgis.com) para los factores de Biodiversidad y de reglamentación específica para los otros factores. Información inextensa que forma parte del documento de tesis doctoral del Programa de conclusión del doctorado en Energía y Desarrollo - Escuela Universitaria de Posgrado de la Universidad Mayor de San Simón (EUPG-UMSS).

**Medio afectado:** FLORA

**Código:** FL-OP-28-24

**Factor ambiental:** Pérdida de la cobertura vegetal

**Actividad del Proyecto:** Deforestación del vaso

**INACEPTABLE**

**Descripción del Impacto:** Se perderá toda la vegetación que esté dentro del área inundable y donde se posiciona la presa.

**Valoración Cuantitativa del Impacto:** Porcentaje de superficie cubierta

$$PSC = 100 \times \frac{\sum S_i \cdot K_i}{S_t}$$

**Valores Sin Proyecto**  
La calidad ambiental de la vegetación es buena  
 $PSC_{SIN} = 100\%$   
 $CA_{SIN} = 1$

**Valores Con Proyecto**  
 $K = 0.1$  (Se conservan algunas especies en las orillas de la laguna)  
 $S1 = 1 \text{ Km}^2$  (Embalse)  
 $S_t = 1.56 \text{ Km}^2$  (AID - embalse)  
 $PSC_{CON} = 100 \times \frac{[1 + 0.1]}{1.56} = 6.41\%$   
 $CA_{CON} = 0.1241$

Especies	K
Endémicas	1
Raras	0.8
Poco común	0.6
Frecuente	0.4
Común	0.2
Muy común	0.1

**Gráfico:** Gráfico de transformación que muestra la Calidad Ambiental (CA) en función del Porcentaje de superficie cubierta (PSC [%]). La línea de transformación muestra una curva que parte de (0, 0) y se aproxima a 1.0. Se marcan los puntos SIN (100% PSC, CA=1) y CON (6.41% PSC, CA=0.1241).

**Fuentes:** ENDE-VH, EEIA Diagnóstico del estado inicial del ambiente existente (Pag.134-136), Reporte GIS WEB WCS.

Figura 3. Ficha técnica de Funciones de transformación - Factor Flora

Los datos de calidad ambiental neta de los factores ambientales identificados como críticos y jerarquizados como inaceptables, se presentan en Tabla 5.

En la tabla 6 se observa que la mayoría de los impactos jerarquizados como inaceptables repercuten negativamente sobre la Biodiversidad como sistema ecológico, siendo los componentes de flora y fauna los más afectados. Asimismo, se advierte que la mayoría de los impactos generados sobre los elementos del medio, no podrán mitigarse por completo. Con relación a los factores de agua y suelo los impactos ambientales se traducirán en variaciones de caudal en las cuencas hidrográficas y en la eutrofización del suelo, aspectos que se relacionan con los efectos del cambio climático, por lo que, deben tener prioridad en cuanto a su seguimiento y monitoreo ambiental a nivel de la cuenca intervenida y como parte del desarrollo de una Evaluación de Impacto Ambiental Estratégica.

Tabla 5. Calidad ambiental Neta de factores ambientales Jerarquizados Fuente: Elaboración propia con base a FT y resultados programa EABACO.

FACTORES AMBIENTALES		C.A. NETA	ÍNDICE/INDICADOR F. T.	ESCALA DE JERARQUIZACION	ACTIVIDAD
COMPONENTES	ELEMENTOS				
<b>FLORA</b>	Eliminación de especies arbóreas	-36,50	Porcentaje de superficie cubierta ponderado	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Pérdida de cobertura vegetal	-32,41	Porcentaje de superficie cubierta ponderado	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Perturbación de especies particulares.	-36,35	Variación del número relativo de especies protegidas ponderadas por su importancia	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Fragmentación de comunidades vegetales	-38,00	Número relativo de especies de plantas afectadas	Inaceptable	Llenado del vaso
<b>FAUNA</b>	Herpetofauna	-29,80	Variación del número relativo de especies protegidas	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Mastofauna	-24,65	Variación del número relativo de especies protegidas	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Perturbación de especies particulares.	-19,84	Variación del número relativo de especies protegidas	Inaceptable	Deforestación del vaso
	Avifauna	-24,66	Variación del número relativo de especies protegidas	Inaceptable	Llenado del vaso
	Mortandad de Fauna	-12,80	Número relativo de especies de animales afectadas	Crítico	Llenado del vaso
	Fragmentación de hábitats	-20,00	Porcentaje de rutas migratorias o puntos de paso afectados	Inaceptable	Apertura y adecuación de caminos
	<b>PAISAJE</b>	Intrusión visual	-26,50	Calidad del paisaje	Crítico
	Pérdida de elementos del paisaje.	-37,33	Calidad paisajística media ponderada por superficie	Inaceptable	Deforestación del vaso
<b>AGUA</b>	Variación del caudal	-33,22	Cantidad del recurso respecto del total	Inaceptable	Llenado del vaso
<b>ECOLOGÍA</b>	Afectación a ecosistemas	-32,28	Porcentaje de superficie afectada	Crítico	Llenado del vaso
<b>SUELO</b>	Erosión de los suelos	-23,00	Pendiente ponderada x superficie afectada	Inaceptable	Construcción de la presa



Tabla 6. Variables de análisis por elemento y componente del medio. Fuente: Elaboración propia con base a programa EABACO, 2023.

SISTEMAS	COMPONENTES	ELEMENTOS	CA NETA	
BIODIVERSIDAD	FLORA	Eliminación de especies arbóreas	-36,50	-143,26
		Pérdida de cobertura vegetal	-32,41	
		Perturbación de especies particulares (Flora)	-36,35	
		Fragmentación de comunidades vegetales	-38,00	
	FAUNA	Herpeto-fauna	-29,80	-131,75
		Masto-fauna	-24,65	
		Perturbación de especies particulares (Fauna)	-19,84	
		Avifauna	-24,66	
		Mortandad de fauna	-12,80	
		Fragmentación de hábitats	-20,00	
ABIOTICO	PAISAJE	Intrusión visual	-26,50	-63,83
		Pérdida de elementos característicos del paisaje	-37,33	
ABIOTICO	AGUA	Variación del caudal	-33,22	-33,22
BIODIVERSIDAD	ECOLOGÍA	Afectación a ecosistemas	-32,28	-32,28
ABIOTICO	SUELOS	Erosión	-23,00	-23
SOCIO ECONOMICO	PERTUBACION Socio cultural	Cambios de uso de suelo	Cualitativo	
		Perturbación a la salud y seguridad publica	Cualitativo	
		Perturbación Gobierno y comunidades locales	Cualitativo	
		Redistribución de la población	Cualitativo	

## 5.2 Resultados, análisis e interpretación del AMC - programa NAIADE

Los criterios que aplica el Software NAIADE, se constituyen en las variables de análisis del AMC que componen el modelo de sustentabilidad hidro energético de Proyectos Hidroeléctricos de embalse establecidos en zonas de montaña. Estos criterios se registran con base a los valores de calidad ambiental neta expresados en Tabla 6, de acuerdo con el lugar de emplazamiento considerando elementos del medio para una modelación del

comportamiento en una misma cuenca (PHI – Ampliación en cuenca aledaña – Ampliación Aguas abajo), y por componentes del medio, entre proyectos ubicados en distintas cuencas (PHI – PHMR).

### 5.2.1 Determinación de criterios, alternativas y grupos de interés

El registro de alternativas se realiza con base a criterios del medio a ser afectados y que para el PHI se da según la necesidad de ampliar el PHI en una segunda fase aguas abajo. Consideración que se fundamenta en la necesidad

de diversificar la matriz energética del país y de garantizar la complementariedad energética con otras fuentes renovables, además de emplazar el proyecto en una cuenca aledaña (figura 4).

Criteria	PHI-EABACO	AMPLIACIÓN OTRA CUENCA	AMPLIACIÓN AGUAS ABAJO
FLORA	-143.26	-128	-172
FAUNA	-131.75	-118	-158
PAISAJE	-63.83	-70	-90
AGUA	-33.22	-30	-40
ECOLOGÍA	-32.28	-40	-50
SUELOS	-23	-23	-23
PERTURBACIÓN SOCIO CULTURAL	More or Less Bi	More or Less Bad	Bad

**Figura 4.** Registro de alternativas y valores de CA neta. Fuente: Programa NIAADE, 2023.

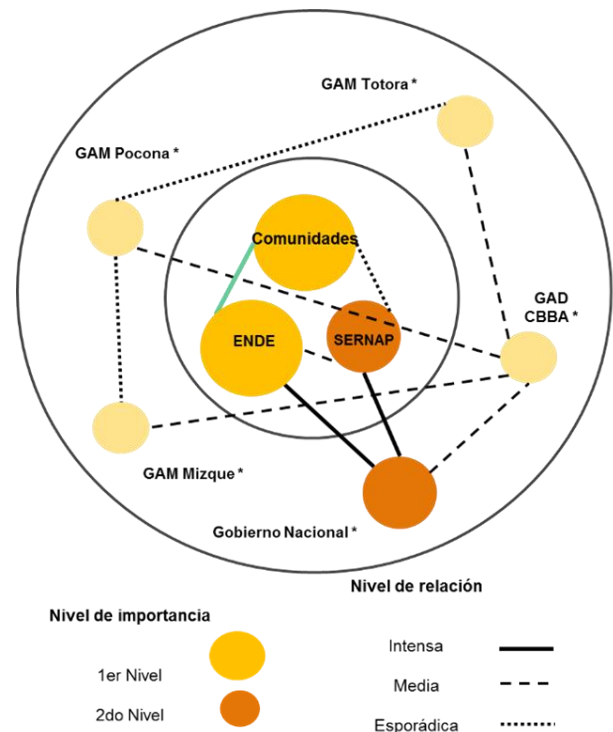
5.2.2 Resultados de matrices de impacto y equidad

De acuerdo con resultado de la matriz de impacto para los tres emplazamientos, el programa determina que el PHI identificado como PHI -EABACO, es el que presenta un mejor desempeño ambiental en relación con los otros emplazamientos.

Para la determinación y registro de grupos de interés se desarrolla el mapeo de actores que están comprometidos con la ejecución del PHI. Esta es una herramienta destinada a relevar las relaciones sociales e institucionales que existen en un territorio determinado entre los diferentes actores sociales que conviven en él. Inicialmente se realizó un listado de instituciones, asociaciones y organizaciones sociales que tienen relación con el desarrollo de la comunidad. Luego, se organiza los actores con relación al nivel de intervención en la dinámica local (interna/externo). Después se procede a la jerarquización y organización respecto a cuáles son los actores “más importantes” o influyentes. Por último, se establecerá el relacionamiento entre actores y el nivel de impacto en las condiciones de vida de la población local, tal como propone Loza (2015).

El análisis del método NIAADE considera los siguientes grupos de interés (Figura 5):

- A. SERNAP – GOB Nacional – GAM: Representado por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas e instituciones gubernamentales.
- B. ENDE: Empresa Nacional de Electricidad de Bolivia, como promotora del proyecto



**Nivel de importancia**

- 1er Nivel ●
- 2do Nivel ●
- 3er Nivel ●

**Nivel de relación**

- Intensa
- Media
- Esporádica

- C. COMUNIDADES — Impacto local afectadas por la implementación del proyecto.
- D. BENEFICIARIOS: Población civil interesada en contar con el servicio de electricidad.

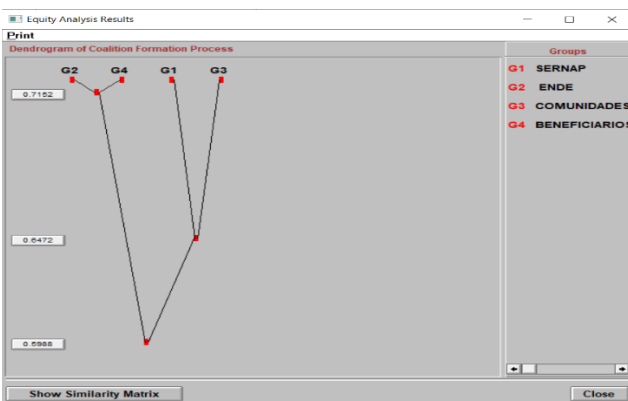
**Figura 5.** Mapeo de actores– grupos de interés PHI. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de equidad incluye las preferencias de los grupos de interés sobre las alternativas de elección. A partir de esta información, se construye una matriz de similitud que identifica cuán cerca o lejos están las opiniones de los distintos grupos, en el que el “Dendograma” de coaliciones expresa las posibilidades de coalición y/o el nivel de conflicto entre los grupos (Figura 6).

Print	Intersection	Alternatives
0.77 C	0.20 C	A PHI-EABACO
0.38 B	0.51 B	B AMPLIACIÓN O..
0.23 A	0.69 A	C AMPLIACIÓN A..

**Figura 6.** Resultados de la Matriz de impacto NIAADE. Fuente: Programa NIAADE, 2023

El Dendrograma de coaliciones (Figura 7), visualiza como se estructuran los potenciales intereses comunes entre en dos grupos: el primero compuesto por ENDE como empresa promotora del proyecto hidroeléctrico y los Beneficiarios, como usuarios que tendrán acceso a la energía generada por el PHI; y el segundo grupo está conformado por personeros del SERNAP (como miembro del Gobierno Central y Municipal) y las comunidades asentadas en el AID del proyecto. Por lo tanto, se concluye que el primer grupo implica un manejo tácito de la opinión pública en dirección a sobre estimar los beneficios ofertados por el proyecto, en cuanto a acceso equitativo a la energía eléctrica y aporte al cambio de la matriz energética, Esto, sumado a que precisamente son las organizaciones con mayor institucionalización, permiten que se vuelva esta opinión más 'consensuada'. El efecto no calculado de esta visión consiste en subestimar a los actores que no tienen institucionalización como los comunarios que persiguen otros objetivos y se mueven por otros intereses, los que precisamente se agrupan en el otro segmento de coalición. Se advierte que el SERNAP tiene un rol fundamental en la preservación del Parque Nacional Carrasco - PNC.



**Figura 7.** Dendrograma - Resultados de la Matriz de equidad - NAIADE. Fuente: Programa NAIADE, julio 2023

### 5.2.3 Desarrollo de matrices de comparación

El desarrollo de matrices de comparación por pares consiste en la comparación entre pares y credibilidad que se tiene sobre los gráficos desarrollados con base a los umbrales de preferencia referidos a niveles o grados de cambio que tendrán los criterios que se consideran como relevantes o no. Los porcentajes son asignados en relación con su línea base sobre el medio intervenido. Sobre los emplazamientos definidos para su análisis por el programa NAIADE, se genera un ranking de preferencias de alternativas, esto con el objetivo de demostrar que el AMC es una herramienta que contribuye a una toma de decisiones acertadas, durante la etapa de diseño, ya sea en una primera fase o como parte de una segunda fase, ante una posible ampliación del PHI.

El registro de datos requiere incluir información sobre la intensidad de las preferencias que fueron identificados en

la matriz de impacto y que ahora serán procesadas como medidas referidas a niveles o grados de cambios registrados en los factores ambientales como criterios relevantes. Estas medidas de preferencia son los llamados 'umbrales' o "Umbrales de preferencia". El método NAIADE, considera seis umbrales para identificar: i) "mucho mejor que"; ii) "mucho peor que"; iii) "mejor que"; iv) "peor que"; v) "aproximadamente igual que a"; vi) "igual a"; de una forma sensible, cuando un cambio en un indicador es muy significativo, algo significativo o indiferente.

Para la evaluación de pares, el estudio propone los siguientes escenarios de análisis:

- Aplicación del AMC – NAIADE a componentes del medio, bajos dos escenarios:
- PHI – Ampliación cuenca aledaña y PHI – Ampliación cuenca aguas abajo.
- Aplicación del AMC – NAIADE a elementos del medio
- Aplicación del AMC – NAIADE entre proyectos, distintas cuencas

### 5.2.4 Aplicación del AMC – NAIADE a componentes del medio

El Escenario No.1 PHI (Ivirizu) vs. ampliación cuenca aledaña (Cristal Mayu), tiene el propósito de corroborar la decisión tomada en la etapa de diseño del proyecto objeto de estudio, ya que el EEIA analiza dos posibles emplazamientos del proyecto: la primera PHI emplazado en la cuenca Ivirizu; y la segunda en la cuenca aledaña (Cristal Mayu) y eligió como mejor opción de emplazamiento la cuenca Ivirizu, argumentando la decisión con base a las características técnicas sobre su emplazamiento (área de embalse menor, menor impacto social y ambiental) y que ahora se analiza bajos los resultados del programa NAIADE, *Figura 8*.

Esta afirmación se detalla solo para este escenario, y se arriba a la misma considerando que los criterios que se encuentran en la fila con la etiqueta de "mucho peor que" (<<) y "peor que" (<), significa que tendrían un comportamiento mucho peor, por lo tanto, el proyecto PHI en su primera fase presenta un peor desempeño ambiental sobre los factores ambientales de Flora (C1), Paisaje (C3) y Ecología (C5). Aquellos que se encuentran en la fila de "aproximadamente igual a" (~) o "igual a" (=), significa que no existe un cambio significativo entre la evaluación de ambos factores y que corresponde a los factores Suelo (C6) y Perturbación socio cultural (C7), y por último aquellos que se encuentra con la etiqueta "mejor" (>) y "mucho mejor" (>>) significa que se prevé que los factores Fauna (C2) y Agua (C4) tengan un

comportamiento mejor o mucho mejor en el PHI que en otra cuenca aledaña.

El Escenario No.2 PHI vs. Ampliación cuenca aguas abajo, tiene el propósito de determinar el cambio de niveles o grados de cambio en los criterios que se consideran como relevantes o no. (Figura 9). De los resultados obtenidos se determina que en una ampliación del proyecto aguas abajo, el Factor flora tendría un peor desempeño ambiental que el ocasionado en el PHI. En cambio, los factores ambientales de Fauna, Paisaje, Agua y Ecología tendrían un mejor desempeño ambiental y por lo tanto se

verían menos afectados. Sin embargo, se resalta la importancia que tiene la biodiversidad, como componente ambiental representativo de las áreas protegidas. El factor Suelo no presenta un cambio significativo en su evaluación comparativa, pero el factor perturbación socio cultural, presenta una variación significativa entre la valoración “aproximadamente igual” e “igual”, ya que este parámetro adquiere mayor representatividad social, que se interpreta como una posible expansión de la frontera agrícola a nivel aguas abajo.

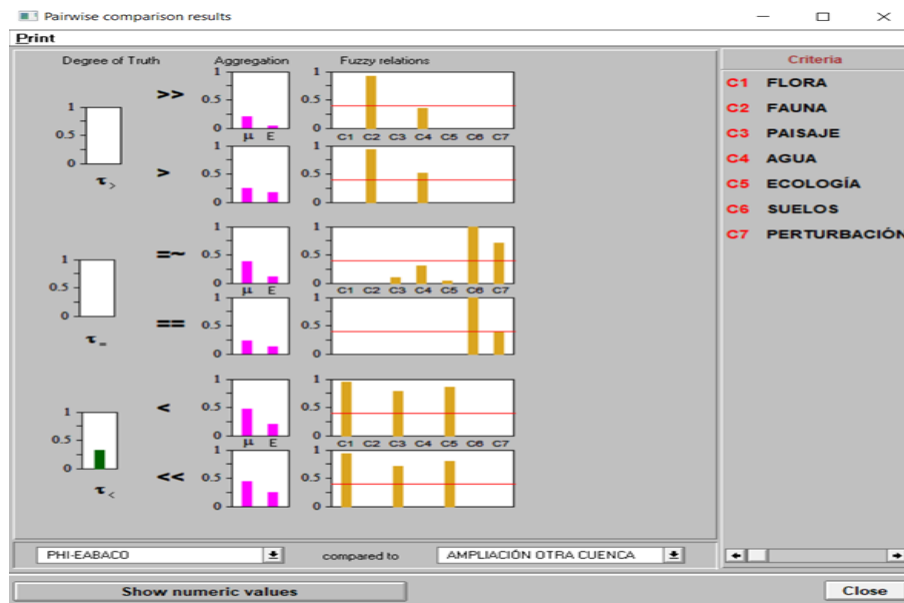


Figura 8. – PHI – Ampliación cuenca Aledaña. Fuente: Programa NAIADE, julio 2023.

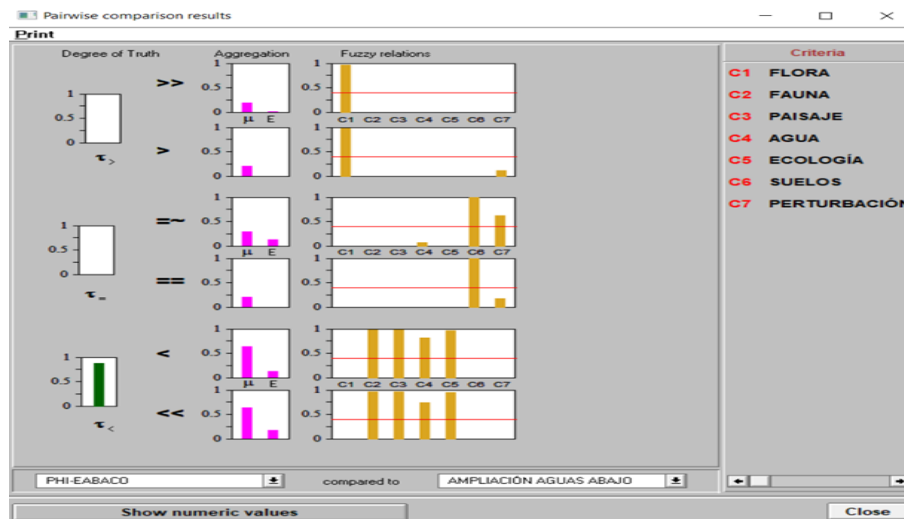


Figura 9. – PHI EABACO – Ampliación cuenca aguas abajo. Fuente: Programa NAIADE, julio 2023.

### 5.2.5 Aplicación del AMC – NAIADE a elementos del medio

Para aplicar la metodología NAIADE para elementos del medio, define los umbrales o límites de las variaciones que tendrán los indicadores ambientales identificados como

representativos del modelo y que resultaron de la jerarquización ambiental en la primera fase. Por lo que, se determina la variación de los factores ambientales jerarquizados como efecto de la interacción de estos con el medio ambiente, de acuerdo con los parámetros de la Tabla 7.

Tabla 7. Umbrales adoptados para los elementos del medio jerarquizados.

N°	INDICADOR (ELEMENTOS DEL MEDIO)	UIA	Objetivo	UMBRALES				
				u==	u≈	u< y u>	u<< y u>>	Parámetro (UIP)
1	Eliminación de especies arbóreas	-36,50	minimizar	-1,90	-3,80	-7,60	-11,40	-38,00
2	Pérdida de cobertura vegetal	-32,41	minimizar	-1,85	-3,7	-7,40	-11,10	-37,00
3	Perturbación de especies particulares- (Flora)	-36,35	minimizar	-1,85	-3,70	-7,40	-11,10	-37,00
4	Fragmentación de comunidades vegetales	-38,00	minimizar	-1,90	-3,80	-7,60	-11,40	-38,00
5	Herpetofauna	-29,80	minimizar	-1,50	-3,00	-6,00	-9,00	-30,00
6	Mastofauna	-24,65	minimizar	-1,25	-2,50	-5,00	-7,50	-25,00
7	Perturbación de especies particulares (Fauna)	-19,84	minimizar	-1,00	-2,00	-4,00	-6,00	-20,00
8	Avifauna	-24,66	minimizar	-1,25	-2,50	-5,00	-7,50	-25,00
9	Mortandad de fauna	-12,80	minimizar	-1,00	-2,00	-4,00	-6,00	-20,00
10	Fragmentación de hábitats	-20,00	minimizar	-1,00	-2,00	-4,00	-6,00	-20,00
11	Intrusión visual	-26,50	minimizar	-1,95	-3,90	-7,80	-11,70	-39,00
12	Pérdida elementos característicos paisaje	-37,33	minimizar	-2,00	-4,00	-8,00	-12,00	-40,00
13	Variación del caudal	-33,22	minimizar	-1,85	-3,70	-7,40	-11,10	-37,00
14	Afectación a ecosistemas	-32,28	minimizar	-2,50	-5,00	-10,00	-15,00	-50,00
15	Erosión	-23,00	minimizar	-1,15	-2,30	-4,60	-6,90	-23,00

Para el registro de los criterios ambientales, los valores de la ampliación que se adoptan representan los valores más críticos posibles o valores límite de cada indicador, los resultados obtenidos se presentan en Figura 10.

De la Figura 11 se determina que, con la ampliación del PHI en una segunda fase, la cobertura vegetal (C2), la mortandad de fauna (C9), la intrusión visual (C11) y de afectación al ecosistema (14) se verán seriamente alterados, por lo tanto, se presentan como condicionantes de la sustentabilidad ambiental del entorno y se constituyen en factores representativos de la

Biodiversidad del entorno. Por este motivo, se debe desarrollar estudios de líneas base acorde a parámetros específicos planteados por profesionales biólogos u otro personal calificado, quienes propongan programas de preservación ambiental sobre estos criterios y apliquen herramientas reactivas para valorar los impactos que afectan la biodiversidad. También, se advierte que la variación de caudal (C13) es un factor representativo de la modelación y que representa a la cuenca Ivirizu en todo su tramo, aspecto particular que denota la preservación del recurso hídrico.

Criteria	PHI	AMPLIACIÓN
Eliminación de especies arbóreas	36.5	38
Pérdida de cobertura vegetal	32.41	37
Perturbación de especies particulares (flora)	36.35	37
Fragmentación de comunidades vegetales	38	38
Herpetofauna	29.8	30
Mastofauna	24.65	25
Perturbación de especies particulares (fauna)	19.84	20
Avifauna	24.66	25
Mortandad de fauna	12.8	20
Fragmentación de hábitats	20	20
Intrusión visual	26.5	39
Pérdida de elementos característicos del paisaje	37.33	40
Variación del caudal	33.22	37
Afectación a ecosistemas	32.28	50
Erosión	23	23
Cambios de uso de suelo	Bad	Very Bad
Perturbación a la salud y seguridad pública	Moderate	ore or Less B:
Perturbación al gobierno y comunidades locales	Moderate	Very Bad
Redistribución de la población	e or Less G	ore or Less B:

Figura 10. Registro de datos en programa NAIADE. Fuente: Programa NAIADE, julio 2023.

Asimismo, la variabilidad de los otros factores ambientales que fueron identificados de manera particular para la Eliminación de especie arbóreas (C1), Perturbación de especies particulares (Flora)(C3), Fragmentación de comunidades vegetales (C4), Herpetofauna (C5), Mastofauna (C6), Perturbación de especies particulares (Fauna)(C7), Avifauna (C8), Fragmentación de hábitats(C10), Pérdida de elementos característicos del paisaje (C12) y Erosión (C15), no representan una variabilidad ante la ejecución del proyecto aguas abajo, pero si deben monitorear en cuanto a su desempeño ambiental en el ecosistema intervenido, con base a las medidas de mitigación propuestos en el EEIA del PHI; toda vez que la afectación del ecosistema debe considerar la intervención de un Área Protegida, es decir el PNC, lugar donde también se emplaza la segunda fase del PHI. Llama la atención la poca variabilidad de los aspectos de Cambio de uso de suelo (16), Perturbación a la salud y seguridad

pública (17), Perturbación al gobierno y comunidades locales (18) y Redistribución de la población (19). Situación que valida el resultado obtenido como parte del análisis de actores y dendograma del proyecto, ya que si bien existen posiciones marcadas de acuerdo a los intereses de los grupos, no existe una posibilidad concreta de la creación de conflictos, y que se atribuye a la falta de una valoración ambiental integral de la sustentabilidad y a la percepción de la población y de los grupos de interés que no enfrentan de manera responsable, las condiciones mínimas de implementación de los proyectos hidroeléctricos en su territorio.

Producto del análisis realizado sobre los resultados de la modelación se concluye que estos coinciden con el hecho de que la integralidad del ecosistema para el factor de Biodiversidad es la que garantiza la viabilidad ambiental del Proyecto.

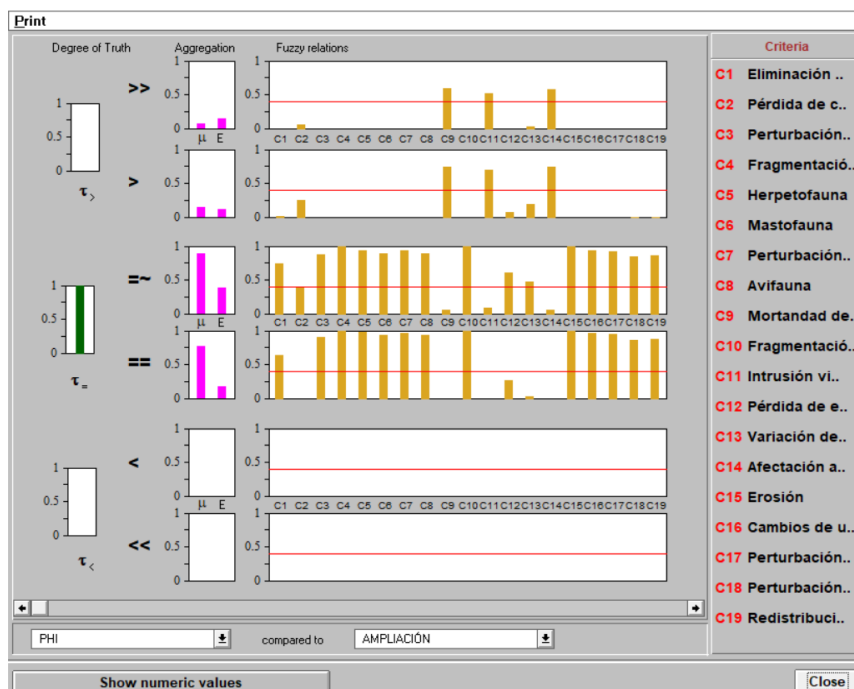


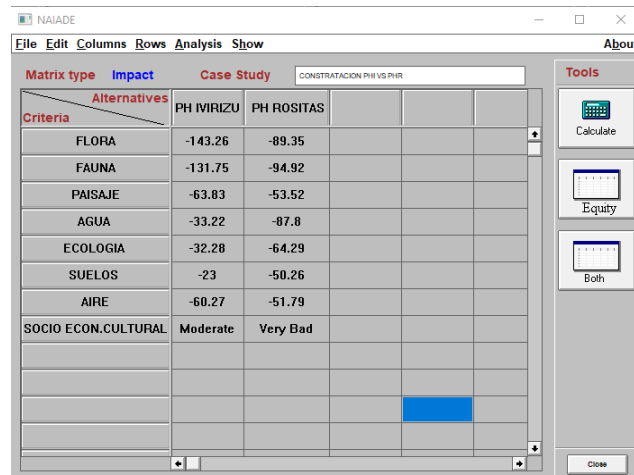
Figura 11. Variación de criterios ambientales – Ampliación del PHI aguas abajo. Fuente: Programa NAIADE, julio 2023.

SISTEMA	MEDIO	Impacto parcial por el medioafectado	Impacto parcial por el sistema afectado
Físico Abiótico	AIRE	-51.79	-243.37
	SUELOS	-50.26	
	AGUA	-87.8	
	PAISAJE	-53.52	
Físico Biótico	FLORA	-89.35	-248.56
	FAUNA	-94.92	
	RELACIONES ECOLÓGICAS	-64.29	
Socio Cultural	SOCIAL POLÍTICO	-50.04	-84.8
	ECONÓMICO	16.22	
	FUNDAMENTOS DE PREDOMINANCIA SIMBÓLICA	-50.98	

Figura 12. Jerarquización de Impactos Ambientales – PH MULTIPLE ROSITAS. Fuente: Programa EABACO, julio 2023.

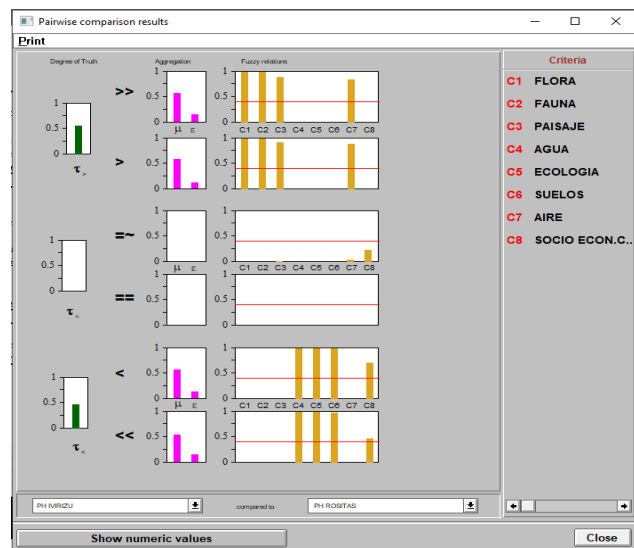
### 5.2.6 Aplicación del AMC – NAIADE entre proyectos, distintas cuencas

Se parte de la valoración de impactos jerarquizados del proyecto hidroeléctrico Múltiple Rositas, según reporte de Figura 12, valores que registra el programa NAIADE de acuerdo Figura 13



**Figura 13** Criterios que registra el programa NAIADE para ambos proyectos.

Con base a los datos registrados, para los elementos del medio de ambos proyectos, la matriz de comparación lanza los siguientes resultados (Figura 14):.



**Figura 14.** Matriz de comparación de variables (Medios) Fuente: Programa EABACO, julio 2023.

Los resultados de la matriz de comparación indican que, se tiene una mayor afectación sobre los factores Flora Fauna y Paisaje. Por lo tanto, deben atenderse los elementos del medio de manera específica y puntal a través de las características que representan el entorno intervenido. También se determina que el PH Múltiple Rositas tiene un

mejor desempeño ambiental, dado que se tiene una menor afectación sobre el componente de biodiversidad, con relación al PH Ivirizu, por lo que, debe valorarse manera particular el aspecto socio económico considerando un mapeo de actores, desplazamiento de la población otros parámetros que garanticen su evaluación cuantitativa en el marco de adecuada gestión social del proyecto.

## 6 Conclusiones

Como hallazgos que caracterizan al estudio de caso - PHI, se determina que la EIA del proyecto cumple con la normativa en cuanto a su procedimiento teórico metodológico determinado en la Ley del medio ambiente N° 1333 y Reglamento de Áreas protegidas. Bio-geográficamente el Área de Influencia Directa para el proyecto comprende a varios pisos ecológicos y se constituye en una particularidad que representa a los proyectos Hidroeléctricos de zonas de montaña. Asimismo, el EEIA del PHI involucra métodos cualitativos, compuesto por matrices interactivas que le dan el carácter de subjetividad a los resultados obtenidos.

Se determinan los siguientes aspectos como claves para estimar el grado de afectación que tendrán los PHs de embalse establecidos en zonas de montaña de acuerdo a las condicionantes del entorno e identificada a nivel macro por: i) Bioclima de la zona, ii) piso ecológico y iii) características Geomorfológicas de la cuenca que afectan a los factores del medio y a nivel de emplazamiento – nivel micro por: i) Biodiversidad de flora y fauna, ii) superficie inundada y iii) series de vegetación del área de embalse, poblaciones desplazadas, todos estos criterios que intervienen como variables del modelo de Jerarquización deben formar parte de los procesos de Evaluación Ambiental Estratégica – EAE del sector, generando una base de datos por cuenca intervenida.

Por lo que, se establece un proceso metodológico para la valoración de los impactos socio ambientales que aplica el AMC, compuesto por una serie de pasos secuenciales que van desde la verificación del cumplimiento de condiciones previas teórico conceptuales y metodológicas requeridas para toda EIA y que se basa en la Jerarquización de impactos socio ambientales por medio la calidad ambiental neta de los componentes y/o elementos del medio, por medio de una valoración cuantitativa que demuestra que los impactos críticos o inaceptables se presentan sobre la Biodiversidad del ecosistema intervenido, con base a índices de variación del número relativo de especies protegidas, número relativo de especies de plantas y animales afectados.



Se internaliza el uso de Sistemas de Información Geográfica SIG, como parte del proceso metodológico, es esencial para determinar la línea base de los ecosistemas intervenidos. En el estudio de caso se implementó a través de la plataforma de jerarquía de mitigación GIS-WEB-WCS. Hecho que permitió valorar de forma más precisa la afectación a los ecosistemas y a las especies señaladas como prioritarias, mediante la obtención de la “cero pérdidas netas”.

Concluyendo que es posible estimar el comportamiento de los impactos socio-ambientales, generados por los proyectos hidroeléctricos establecidos en Ecosistemas de montaña PHs, a través de la modelación del programa NAIADÉ - técnica de AMC como herramienta de toma de decisiones para la etapa de diseño e implementada con el fin de reducir el grado de incertidumbre en la determinación de la sustentabilidad ambiental de los proyectos de generación hidroeléctrica

## 7 Recomendaciones

Considerando que el estudio toma como elemento de análisis un PH establecido en Área protegida (AP) de distintos gradientes altitudinales, se recomienda el desarrollo de estudios específicos en la cuenca intervenida, esto con el objetivo de establecer corredores biológicos que conecten a estas áreas naturales de preservación ambiental, que contribuyan a una sobrevivencia de las especies endémicas, amenazadas y en peligro de extinción, además de mantener los servicios ecosistémicos en resguardo de la Biodiversidad y de mejora de la calidad del hábitat del áreas de intervención, para su consideración obligatoria en EEIAs de proyectos hidroeléctricos emplazados en APs. Como también se recomienda incluir en normativa ambiental controles de Supervisión y/o Auditoría Ambiental para las líneas base de los EEIA.

Para estimar la incidencia que tienen los proyectos hidroeléctricos sobre el Factor socio cultural, se sugiere el desarrollo de metodologías específicas que formen parte de los EEIAs y que reflejen al componente social como un elemento primordial, principalmente cuando exista desplazamiento de poblaciones, como efecto de la implementación del proyecto.

Asimismo, es necesario la socialización de los trabajos de investigación relacionados a determinar la sustentabilidad socio ambiental de los proyectos hidroeléctricos de embalse, ante autoridades pertinentes del Estado Plurinacional, para que sean estos los que avalen la implementación de las propuestas metodológicas y validen el empleo de métodos cuali-cuantitativos, herramientas de SIG y programas NTICs desde el desarrollo de sus líneas base y que además apliquen

técnicas de AMC para avalar la sustentabilidad socio ambiental en estudios de preinversión de estos proyectos.

## Bibliografía

- Abdallah, K. B., Belloumi, M., y De Wolf, D. (2013). Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector. 25, 34-43.
- Albarracín, L. R. (2019). El cambio climático y el desarrollo energético sostenible en América Latina y el Caribe al amparo del Acuerdo de París y de la Agenda 2030. (15), 1.
- Altomonte, H. (2017). La evolución del concepto de energía y desarrollo sostenible al de planificación energética sostenible. 1(2), 10-23.
- Amilcar N., 2004. Metodologías matriciales de Evaluación ambiental para países en desarrollo, Guatemala. 56-60
- André, P., Delisle, C. E., y Revéret, J.-P. (2004). *Environmental assessment for sustainable development: processes, actors and practice*: Presses inter Polytechnique.
- Arboleda, J. (2005). Manual para la evaluación de Impactos ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín - Colombia.
- Bermann, C., Aedo, M. P., Larrain, S., Bertinat, P., Canese, R., Pedace, R., y Zorilla, G. (2004). Desafíos para la sustentabilidad energética en el Cono Sur. *Programa Cono Sur Sustentable. Fundación Heinrich Boll. Recuperado el, 2003.*
- Bertinat, P., Chemes, J., y Arelovich, L. (2014). Aportes para pensar el cambio del sistema energético ¿Cambio de matriz o cambio de sistema?
- Bina, O. (2007). A critical review of the dominant lines of argumentation on the need for strategic environmental assessment. 27(7), 585-606.
- Bittermann W. y Haberl H. (1998) Landscape-relevant indicators for pressures on the Environment, Innovation: The European Journal of Social Science Research, 11:1, 87-106, DOI: 10.1080/13511610.1998.9968553
- Bitre, Y. (2020). Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos de Ingeniería Civil. empleando el método Battelle Columbus y desarrollo de un software metodológico. Ingeniería Civil - UMSA. La Paz - Bolivia.
- Canter, L. W. (1997). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. Editorial Mc. Graw Hill. España.
- Castro, M., Meyén G. y Ospina J. (2019). Impactos Ambientales, sociales y culturales de Hidroeléctricas, Fundación KAS. Editorial Plural Editores. Bolivia
- Cloquell-Ballester, V.-A., Cloquell-Ballester, V.-A., Monterde-Díaz, R., y Santamarina-Siurana, M.-C. (2006). Indicators validation for the improvement of environmental and social impact quantitative assessment. 26(1), 79-105.
- Conesa, F.-V. V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*: Mundi-Prensa Libros.

- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). (1992). La declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. *Río de Janeiro, ONU, 16*.
- Dams, W. C. O. (2019). Dams and Development: A New Framework for Decision-making-The Report of the World Commission on Dams.
- Declève, B. (2000). Trabajo urbano, espacio público y democracia local. *Urbano, 2(2)*, 47-49. Recuperado a partir de <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/691>
- Dee, N., Baker, J., Drobny, N., Duke, K., Whitman, I., y Fahringer, D. (1973). An environmental evaluation system for water resource planning. *9(3)*, 523-535.
- Del Río, O. (2011). *El proceso de investigación: etapas y planificación de la investigación*. Paper presented at the La investigación en comunicación: métodos y técnicas en la era digital.
- Donnelly, A., Jones, M., O'Mahony, T., & Byrne, G. (2007). Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment. *27(2)*, 161-175.
- ENERLAC. (2017). Organización Latinoamericana de Energía. Volumen I, Número 2.
- ENDE, C. (2016). Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental - Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu. In..
- Espinoza, G. A. (2002). *Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental*: BID/CED.
- Espinoza, G. A. (2006). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*.
- Esteves, A. M., Franks, D., y Vanclay, F. (2012). Social impact assessment: the state of the art. *30(1)*, 34-42.
- Franco B. (2000). Debilidades en las evaluaciones de impacto ambiental, UMSA, La Paz, 30-95.
- Gallopin, G. (1997). Indicators and their use: information for decision making. En Moldan, B. y S. Billhartz (eds.): Sustainability indicators: Report of the project on Indicators of Sustainable Development. SCOPE. In: Chichesinter, UK: Wiley and Sons Ltd.
- García, I. (2004). Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impacto ambientales. Tesis doctoral UPC. Barcelona - España.
- Garmendia A., Salvador A., Crespo C. y Garmendia L. (2005) Evaluación de impacto ambiental, PEARSON EDUCACIÓN S.A., Madrid, 226 – 279.
- Gibson, R. B. (2006). Sustainability assessment: basic components of a practical approach. *24(3)*, 170-182.
- Gómez D.(2002). Evaluación de impacto ambiental, 2ed, Mundi - Prensa, Madrid, 521-652.
- González, H. D. L. (2016). Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto: Ecoe ediciones.
- Gudynas, E. (2011). Desarrollo y sustentabilidad ambiental: diversidad de posturas, tensiones persistentes. 69-96.
- Kishor Mahato, B., & Ogunlana, S. O. (2011). Conflict dynamics in a dam construction project: a case study. *Built Environment Project and Asset Management, 1(2)*, 176-194. doi:10.1108/20441241111180424
- Hammond, A. L. (1995). *Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development* (Vol. 36): World Resources Institute Washington, DC.
- Hartley R. (2010) Aplicación de un análisis de múltiples criterios en gestión hídrica local, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 14: 13-32*.
- Herbas, E., Delgado, M., W. Ferreira y M. Camargo. (2018). Perspectivas de evaluación de impactos ambientales en Bolivia. Principios procedimentales, instrumentales y jurídicos. Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, Germany – Universidad Católica Boliviana “San Pablo” (UCB). Cochabamba. 135 p.
- Ibañez Martín, M. M., Zabaloy, M. F., Reyes Pontet, M. D., Chaz Sardi, M. C., & González, F. A. I. (2022). ¿Cómo aliviar la pobreza energética a partir de energías renovables? Diseño de un ensayo aleatorio en barrios vulnerables. *Revista Latinoamericana De Metodología De Las Ciencias Sociales, 12(1)*, e110. <https://doi.org/10.24215/18537863e110>
- IRENA, (2022). “Renewable energy statistics 2022”. Available at: <[www.irena.org](http://www.irena.org)> [accessed 01.03.2023]. Joint Research Centre – EC, ISPRA SITE (1996) NAIAD E Manual y Tutorial, Italy.5-40.
- International Hydropower Association. (2022). “2022 Hydropower Status Report”. En: [https://catalogue.unccd.int/1913\\_IHA-2022-Hydropower-Status-Report.pdf](https://catalogue.unccd.int/1913_IHA-2022-Hydropower-Status-Report.pdf)
- Kemmler, A., y Spreng, D. (2007). Energy indicators for tracking sustainability in developing countries. *35(4)*, 2466-2480.
- Larrea-Alcázar, Daniel. (2015). Hidroeléctricas y Presas - Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia.
- Lieberman M., Salm H. y Paiva B. (2000). Manual Ambiental para la Construcción de Carreteras, SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS, La Paz, 56-270.
- Linares J. (2000). Propuesta de Procedimientos y Contenido para Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental de Carreteras en Bolivia, UMSA, La Paz, 20-62.
- López C. (1996). Metodologías Aplicadas para la Evaluación de Impacto Ambiental en Proyectos de Agua Potable en el altiplano, UMSA, La Paz, 55-64.
- López L. (2012). Estudio y Evaluación de Impacto Ambiental en Ingeniería Civil, Editorial Club Universitario, Alicante, 61-92.

- López O., Fernández R., Magro S. y Sopena A. (2016) La Jerarquía de Mitigación como Buena Práctica en la Gestión Empresarial de la Biodiversidad, CONAMA, 27-41.
- Loza, A. (2009) Permanencias y transformaciones territoriales: La construcción histórica del territorio en la micro región de los valles interandinos de Cochabamba, Publicaciones PRAHC-UMS, Cochabamba, Bolivia.
- Loza, A. (2015) Propuesta metodológica para el Ordenamiento Territorial en áreas con actividad industrial de pequeña escala.
- Macoun, P., & Prabhu, R. (1999). Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators (Vol. 9). CIFOR.
- Malinow, G. V. (2010), "Presas de embalse y el reparo de las comunidades, ¿cómo superarlo?", VI Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Neuquén, Argentina.
- Meier, C. (2015). Estándares Internacionales de Sustentabilidad para la Hidroelectricidad y Posibilidades de Implementación en Chile.
- Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *30*(1), 5-14.
- Navarro, G. (1997). *Contribución a la clasificación ecológica y florística de los bosques de Bolivia*: Fundación Simón I. Patiño.
- Navarro, T. G., García, M. M., Acuña, S. D. y Díaz, D. M. (2009). An environmental pressure index proposal for urban development planning based on the analytic network process. *29*(5), 319-329.
- OCDE. (2001). *OECD Environmental Indicators 2001: Towards Sustainable Development*: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- ONU, W. (2003). Informe de las Naciones Unidas, sobre el Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: "Agua para todos, agua para la vida".
- Paitán, H. Ñ., Mejía, E. M., Ramírez, E. N. y Paucar, A. V. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*: Ediciones de la U.
- Pérez, C. L. (2008). Experiencia del INEGI en la Elaboración de Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sustentable. *IG-UNAM, México DF*, 27-55.
- Peterson, E. B., Chan, Y., Peterson, N., Constable, G., Caton, R., Davis, C. y Yarranton, G. (1987). *Cumulative effects assessment in Canada: An agenda for action and research*: Canadian Environmental Assessment Research Council Hull.
- Petts, G. E. (1984). *Impounded rivers: perspectives for ecological management*: Wiley.
- Quiroga Martínez, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*: CEPAL.
- Riascos E. (2010) El Análisis multicriterio en la Gestión de la Biodiversidad, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 81-90.
- Ricaldi, A. T. (2020). *Construyendo la transición energética desde y para los pueblos y comunidades. Casos: Brasil, Perú y Bolivia*.
- Romano Velasco, J. n., y Alcina Franch, J. (2000). *Desarrollo sostenible y Evaluación ambiental: Ambito*.
- Semarnat. (2003). Informe de la situación del medio ambiente en México, 2003. Compendio de estadísticas ambientales, . In. México, Semarnat.
- Sandoval Erazo, W. (2019). *Diseño de Obras Hidrotécnicas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Salas E., Mendoza S., Sainz H., Teijeiro J. y Galarza Y., 2008. Manual ambiental para carreteras, ABC – PCA Ingenieros Consultores S.A., La Paz, 14-43,
- Sánchez L. (2008). Evaluación del Impacto Ambiental Conceptos y Métodos, , Sao Paulo, 155-195.
- Santos O. (2014). Metodologías Para la Clasificación de Cuerpos de Agua: Aplicación en el departamento de La Paz, UMSA, 46-90.
- Tenney, A., Kværner, J. y Gjerstad, K. I. (2006). Uncertainty in environmental impact assessment predictions: the need for better communication and more transparency. *24*(1), 45-56.
- Toledo P. (2009). Propuesta de Actualización y Sistematización del Programa Computarizado de Evaluación de Impactos Ambientales (PCIA) Para los sectores de Hidrocarburos y Minería, UMSA, 68-125.
- Torres, O., (2011). Perspectivas de la matriz energética boliviana. Instituto de Investigaciones Socio Económicas (IISEC - UCB) - Fundación Hanns Seidel
- Vallejo, M. C. (2013). Seguridad Energética y Diversificación en América Latina: el caso de la hidroenergía. *3*(6), 152-169.
- Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas. (2014). Plan Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025. *La Paz - Bolivia*.
- Villamizar, S., Soto-Verjel, J., Cordoba, A. M. y Bustos, C. A. P. (2022). Scoping acoplado a la metodología de Conesa para la evaluación ambiental de un sistema avanzado de descontaminación de lixiviado de relleno sanitario. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, *24*(02), 25-25.
- Wildlife Conservation Society (WCS). (2021). Plataforma de Jerarquía de Mitigación.
- Wymann von Dach, S., Bracher, C., Peralvo, M., Pérez, K., & Adler, C. (2018). *Nadie de las montañas se quedará atrás: Localizando los ODS para la resiliencia de los habitantes y ecosistemas de montaña. Resumen Informativo en Desarrollo Sostenible de las Regiones de Montaña*. . Retrieved from
- WWF Bolivia. (2020). Análisis preliminar de proyectos hidroeléctricos en Bolivia, sus impactos ambientales y la complementariedad energética

Yüksel, I. (2010). Hydropower for sustainable water and energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 462–469. doi:10.1016/j.rser.2009.07.025