

# Análisis multicriterio, una herramienta de determinación de la sustentabilidad ambiental en proyectos hidroeléctricos

Luz Lucy **Fernández Ríos**

Universidad Mayor de San Simón • Cochabamba • **Bolivia**  
luz.fernandez@umss.edu

## Resumen

La aplicación de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) previstos por ley, no definen procedimientos para su evaluación, requiriendo la determinación de técnicas de análisis que sustituyan y mejoren el uso de los métodos clásicos e interpreten escenarios complejos como parte de decisiones adelantadas en cuanto a la pertinencia de ejecución de proyectos Hidroeléctricos en el marco de la sustentabilidad ambiental. Para atender esta falencia, se propone implementar el Análisis Multicriterio (AMC) a través del método NAIADE, que involucra e integra múltiples perspectivas que modelan el comportamiento del medio intervenido, priorizando la preservación del ecosistema como una estructura equilibrada de factores ambientales analizados de manera particular, en relación a las alternativas y/o escenarios posibles. Se toma como estudio de caso el proyecto hidroeléctrico Ivirizu (PHI), que aporta al modelo con información cuantitativa jerarquizada para los factores ambientales del proyecto, que provienen del paquete EABACO y representan los criterios técnicos a evaluar para su contrastación con grupos de actores vinculados y escenarios propuestos para la ampliación del proyecto. Producto de la modelación de escenarios se presenta un ordenamiento ambiental que determina que el uso de métodos de AMC responde con mayor precisión a la dimensión ambiental, conforme a sus características técnicas-ecosistémicas.

**Palabras clave:** *Evaluación de impacto ambiental, sustentabilidad ambiental, análisis multicriterio, ordenamiento ambiental*

## Abstract

The application of EIA Environmental Impact Assessment methods provided for by law, do not define procedures for their assessment, requiring the determination of analysis techniques that replace and improve the use of classic methods and interpret complex scenarios as part of advance decisions regarding the relevance of executing hydroelectric projects within the background of environmental sustainability. To address this shortcoming, it is proposed to implement the Multicriteria Analysis AMC through the NAIADE method, which involves and integrates multiple perspectives that model the behavior of the intervened environment, prioritizing the preservation of the ecosystem as a balanced structure of environmental factors analyzed in a particular way, in relation to the alternatives and/or possible scenarios. The Ivirizu hydroelectric project is taken as a case study, which contributes to the model with hierarchical quantitative information for the environmental factors of the project, which come from the EABACO package and represent the technical criteria to be evaluated for their contrast with groups of linked actors and scenarios proposed for the expansion of the project. As a result of the modeling of scenarios, an environmental order is presented that determines that the use of AMC methods responds with greater precision to the environmental dimension, according to its technical - ecosystem characteristics.

**Keywords:** *Environmental impact assessment, environmental sustainability, multicriteria analysis, environmental planning*

## Introducción

El potencial hídrico de Bolivia se presenta como una opción priorizada para la generación de energía hidroeléctrica, considerada como energía renovable, motivo por el cual la cartera de proyectos hidroeléctricos identificados por el Estado plurinacional viene implementando de manera prioritaria. Situación que se presenta como una oportunidad para el desarrollo de estudios de investigación que analicen experiencias concretas sobre su implementación y la relación con el ecosistema intervenido, ya que debido a la variabilidad de los factores ambientales y su relación con el entorno, es necesario identificar y jerarquizar los impactos socioambientales para su interpretación en los Estudios de Evaluación de Impacto ambiental (EEIA), a partir del uso de herramientas de análisis multicriterio que contribuyan a una acertada toma de decisiones en cuanto a su implementación, en el marco de los postulados del desarrollo energético sostenible (Albarracín, 2019) y que garanticen su viabilidad socio ambiental.

El estudio toma como unidad de análisis un proyecto hidroeléctrico de embalse - Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu (PHI), situado sobre el Parque Nacional Carrasco (PNC) y que actualmente se encuentra en etapa de ejecución, con un avance del 57%. Asimismo, la información correspondiente a los impactos socio ambientales fue procesada y evaluada en términos de sustentabilidad socioambiental por el Software EABACO, producto de la cual se realiza una jerarquización de estos impactos con base a resultados de la calidad ambiental obtenida.

Para determinar el carácter de sustentabilidad del proyecto hidroeléctrico, el estudio propone la implementación del Análisis Multicriterio (AMC) como una herramienta flexible capaz de procesar información cuali-cuantitativa y a la vez seguir un proceso evaluativo lógico, transparente y explícito, ya que esta herramienta considera distintas escalas de valores, sin buscar maximizar los criterios, sino identificando soluciones compromiso, manejando grandes cantidades de información y por sobre todo realizando un proceso evaluativo transparente y sobre una base racional.

El estudio aplica el método de AMC, denominado Novel Approach to Imprecise Assessment and Decisión Environments (NAIADE), que evalúa alternativas de acuerdo a criterios, tomando 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, ante una posible ampliación del proyecto.

La presente investigación de acuerdo con sus características se enmarca en el paradigma socio-crítico, el cual combina información de tipo cuantitativo y cualitativo. El método utilizado en la investigación será el hipotético deductivo y de síntesis por que se parte de situaciones generales explicadas y se aplica en forma concreta al proyecto de la Hidroeléctrica de Ivirizu. El diseño de la investigación en un principio se torna explorativo y descriptivo, ya que se consideran diversas variables explicativas del entorno para comprobar y determinar los impactos socio ambientales que estas generan a nivel de los distintos factores ambientales y en su relación con su entorno, se aplica en forma concreta a la información contenida en el Estudio de Evaluación de Impacto a Ambiental (EEIA) del Proyecto Hidroeléctrico de Ivirizu, buscando aportar así con conocimiento científico y académico al Desarrollo Sostenible. Asimismo, responde a la necesidad actual de determinar el impacto real ocasionado por esta forma de generación de energía en respuesta a la hipótesis de que la construcción de represas de embalse en zonas de montaña es una solución ambientalmente óptima y por lo que es posible considerar a los proyectos hidroeléctricos como una energía alternativa renovable para el abastecimiento de la población en el marco del Desarrollo energético Sostenible, situación que corresponde a una investigación determinística.

## Desarrollo y argumentación

En el contexto actual, es necesario ligar el concepto de desarrollo sostenible al de energía y principalmente articularlo con el de planificación energética sostenible debido a que, en la última década, el Desarrollo Energético es vital para el progreso de los países. Por lo tanto, esta relación se halla conceptualizada como una transición energética que difiere de las anteriores transiciones, ya que ahora se exige que la misma sea "justa" y "sostenible", motivo por el cual se cuenta con guías metodológicas las cuales relacionan aspectos sociales, económicos, políticos y medioambientales que ayudan a estimar el desempeño energético, utilizando indicadores (Albarracín, L.R., 2019).

En la Cumbre de Johannesburgo del año 2002 se alude explícitamente a la energía, planteando que, para lograr un futuro sostenible, es necesario atacar varios frentes como la pobreza, el agua, el saneamiento, la agricultura, la desertificación y la energía.

Como referencia conceptual del término "Desarrollo sostenible", Gudynas (2011), expresa que "A partir de la conceptualización ofrecida por el informe Brundtland, el concepto de desarrollo sostenible siguió expandiéndose, hasta que en el día de hoy es una categoría polisémica que emplea el mismo rótulo para albergar distintos significados, y sus aplicaciones prácticas son también diversas. Por esa razón, algunos estudios señalan que "la definición del informe Brundtland conlleva contradicciones en sus propios términos" (Desarrollo y sustentabilidad ambiental: Diversidad de posturas, tensiones persistentes, Universidad de granada, P. 74).

Por tanto, es posible ligar el desarrollo energético con el desarrollo sostenible, dentro de un marco de análisis y evaluación que haga operativo el concepto de sustentabilidad y energía como un instrumento de planificación energética sostenible.

Asimismo, según Albarracín, L. R. (2019), el desarrollo energético sostenible es un medio para la lucha contra el cambio climático, motivo por el cual el desarrollo energético, para ser sostenible, requiere conciliar las necesidades energéticas del crecimiento económico, el desarrollo social y los límites medioambientales para las generaciones presentes y futuras, concluyendo que, la lucha contra el cambio climático y el desarrollo de la política energética sostenible en América Latina y el Caribe son enfoques complementarios.

Producto de estos lineamientos, el concepto de sustentabilidad ambiental se relaciona con el desarrollo energético sostenible a través de la formulación de políticas energéticas que casi todos los países de América Latina y el Caribe (ALC) aplicaron a través de su legislación ambiental, las cuales determinan los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental como un instrumento técnico jurídico que contribuye al Desarrollo Sostenible en sus territorios, sin considerar criterios políticos, toda vez que estos definen la ejecución de los proyectos. En torno a ello, Altomonte (2017) señala que este escenario obedeció más a razones ambientales que a una concepción integral del desarrollo sostenible, sin considerar criterios políticos y legales, que según el autor, en ambos casos estos trascienden en la toma de decisiones políticas del sector energético y en sus actividades guiadas por la legislación imperante.

Según el documento de Análisis preliminar de proyectos hidroeléctricos en Bolivia, sus impactos ambientales y la complementariedad de la WWF<sup>1</sup> Bolivia (2020), la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) tiene una cartera de proyectos hidroeléctricos profusa, de los cuales algunos de estos han generado polémica por los impactos ambientales que podrían generar, sobre todo por su ubicación o cercanía con áreas protegidas. Siendo necesario desarrollar la hidroenergía, pero de una manera tal que el impacto socio ambiental sea el menor posible.

Asimismo, es crucial la utilización de herramientas estandarizadas para la toma de decisiones, motivo por el cual este estudio tiene el objetivo de aplicar un AMC para determinar la sustentabilidad ambiental del proyecto estudio de caso y que se aplica con base a información registrada en el EEIA del Proyecto Hidroeléctrico Ivirizu (PHI) que es parte de la cartera de proyectos antes mencionados.

La implementación del PHI se justifica por su importancia en la contribución al incremento de la oferta energética que permita atender la demanda creciente, ya que, de acuerdo a la planificación existente, la demanda incremental de potencia 2013 - 2025 deberá crecer en 2.114 MW, de donde se infiere que la demanda eléctrica se incrementará anualmente en 176 MW. El proyecto Ivirizu aportará en la reducción de esta demanda con 290,20 MW. Para este cometido en fecha 19 de julio de 2016 se promulgó la Ley N° 819 que declara de interés y prioridad nacional la ejecución del PHI en todas sus etapas.

El AMC se desarrolla a través del método NAIADE, como un método de evaluación cuali-cuantitativo, que parte de información validada como parte del estudio a través del uso de software especializado - EABACO, mismo que con base a las características biofísicas y sociales del entorno del proyecto, evalúa la sostenibilidad ambiental del medio intervenido y que en el marco del estudio se desarrollan bajo las siguientes premisas:

- Los impactos socio ambientales se constituyen en la información base a analizar, mismos que están representados por los factores ambientales susceptibles a degradar sobre información generada por medio de la implementación del método matricial cualitativo de EIA Vicente Conesa de acuerdo a Guía metodológica para evaluación de Impactos Ambientales, (Conesa, V. 2011), mejorado y aplicado al PHI.
- La información sobre la calidad de los impactos socio ambientales se obtiene de los resultados del Software EABACO ([www.eabaco.org/](http://www.eabaco.org/)), herramienta que aplica de forma eficiente el método de Battelle-Columbus y evalúa los impactos socio ambientes generados por el proyecto, con el objetivo de determinar su viabilidad ambiental global en el área de influencia directa (AID) del proyecto estudio de caso al interior del PNC.
- Se consideran los factores que componen el medio biótico del ecosistema para el AID del PHI y que está compuesta por i) Área de embalse, ii) vías y caminos de acceso y iii) Líneas de Transmisión y que se emplea en la Plataforma de Jerarquía de Mitigación del SERNAP.
- Para el componente social se parte de la consulta pública inserta en el EEIA del PHI, como información base y posteriormente se desarrolla un mapeo de actores para determinar las relaciones sociales e institucionales. Además de realizar un esquema que visualice el poder territorial de los actores, aspectos que serán evaluados por el AMC.

El proceso de evaluación que sigue el estudio, se inicia con el registro de datos de información requerida para la determinación de los criterios que componen el análisis del método NAIADE, por medio del desarrollo de funciones de transformación para su valoración cuantitativa por el paquete computacional de Evaluación Ambiental por el método Battelle-Columbus (<http://www.eabaco.org/>); seguidamente se registran las alternativas de evaluación, luego se especifican los Grupos de interés y generan como resultado las matrices de impacto, de equidad y de comparación por pares, información que deberá interpretarse, conforme a procedimiento establecido en la Figura 01.

### Validación de Información EEIA - PHI - EABACO

Para la validación de la información cuantitativa, se aplica el método Battelle-Columbus (1972), que permite el desarrollo de Funciones de Transformación (FT) cuyo cálculo se realiza 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 emplea el software EABACO, herramienta que aplica de forma eficiente el método de Battelle-Columbus y que evalúa los impactos socio ambientes generados por el proyecto, determinando su viabilidad ambiental global, cuya interpretación en el marco de la sustentabilidad ambiental, se considera información veraz y confiable, que representa una condición real de interacción entre la naturaleza y la sociedad, 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 para aspectos de evaluación de la sustentabilidad ambiental, del proyecto estudio de caso.

Con base a datos del programa EABACO, para factores ambientales del medio biótico/abiótico jerarquizados como relevantes, en la Tabla 01 se registra la valoración de calidad ambiental neta para cada factor evaluado.

#### Determinación y registro de criterios

Los criterios que se registran en el Software NAIIDE se presentan en la tabla 02. La valoración se registra en programa NAIIDE, según captura de pantalla demostrativa presentada en la Figura 02.

#### Determinación y registro de alternativas

Se propone la determinación y registro de alternativas, según la necesidad de ampliar el PHI en respuesta a la diversificación de la matriz energética refrendada en cartera de proyectos de la empresa ENDE, en sentido de garantizar la necesidad de complementariedad energética con otras fuentes renovables. Registro que se realiza en el software NAIIDE de acuerdo a lo mostrado en la Figura 03:

- A. PHI - EABACO - Enfoque cuantitativo
- B. Ampliación del PHI - Cuencas aledañas.
- C. Ampliación del PHI, Aguas abajo.

#### Determinación y registro de grupos de interés

Se desarrolla con base al mapeo de actores como 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.

Figura 01

Proceso de evaluación multicriterio - Método NAIIDE



Fuente: Elaboración propia, agosto 2022

Tabla 01

Valores de calidad ambiental

FACTORES AMBIENTALES		CA-NETA	I
FLORA	Eliminación de especies arbóreas	-36.5	
	Pérdida de cobertura vegetal	-52.41	-143.26
	Perturbación de especies particulares (Flora)	-36.35	
	Fragmentación de comunidades vegetales	-38	
FAUNA	Herpeto-fauna	-29.8	
	Masto-fauna	-24.65	
	Perturbación de especies particulares (Fauna)	-19.84	-29.8
	Avifauna	-24.66	
	Mortandad de fauna	-12.8	
PAISAJE	Fragmentación de hábitats	-20	
	Intrusión visual	-26.5	-26.5
	Pérdida de elementos característicos del paisaje	-57.33	
AGUA	Variación del caudal	-35.22	-33.22
ECOLOGÍA	Afectación a ecosistemas	-52.28	-32.28
SUELOS	Erosión	-23	-23
PERTURBACION SOCIO CULTURAL	Cambios de uso de suelo		Cualitativo
	Perturbación a la salud y seguridad pública		Cualitativo
	Perturbación Gobierno y comunidades locales		Cualitativo
	Redistribución de la población		Cualitativo

Fuente: Elaboración propia con base a programa EABACO, julio, 2022

Tabla 02

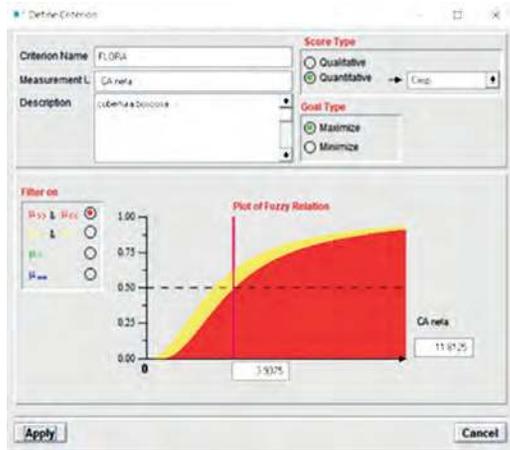
Descripción de criterios a evaluar mediante el AMC

No.	CRITERIO	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE DEL MEDIO
A	FLORA	Determinado por índices y/o indicadores de: Eliminación de especies arbóreas, Pérdida de cobertura vegetal, Perturbación de especies particulares (Flora) y Fragmentación de comunidades vegetales	Biodiversidad
B	FAUNA	Determinado por índices y/o indicadores de: Herpetofauna, Mastofauna, Perturbación de especies particulares (Fauna), Avifauna, Mortandad de fauna y Fragmentación de hábitats	Biodiversidad
C	ECOLOGÍA Y PAISAJE	Afectación a ecosistemas e intrusión visual.	Biodiversidad/Abiótico
H	AGUA	Referida a las variaciones del caudal, con base a valores del caudal ecológico de la cuenca.	Abiótico
T	SUELOS	Erosión	Abiótico
F	PERTURBACION SOCIO CULTURAL	Cambio de uso de suelo- Gobierno - Comunidades y de seguridad	Socio económico

Fuente: Elaboración propia con base a programa EABACO, julio, 2022

Figura 02

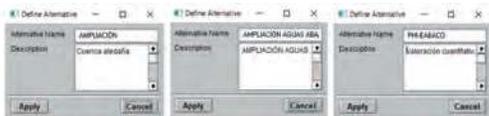
Registro de criterios NIAIDE



Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022.

Figura 03

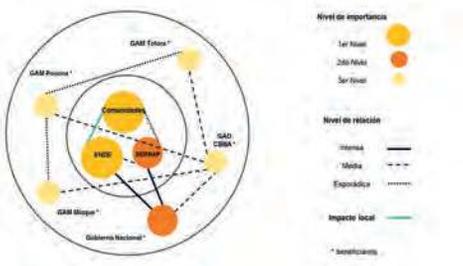
Registro de alternativas NIAIDE



Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022.

Figura 04

Mapeo de actores sociales - PHI



Fuente: Elaboración propia, julio, 2022

Luego se organiza los actores en 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).

Para el análisis mediante el método NIAIDE, se consideran los siguientes grupos de interés:

- 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.
- C. COMUNIDADES Afectadas por la implementación del proyecto.
- D. BENEFICIARIOS: Población civil interesada en contar con el servicio de energía eléctrica.

El mapeo de actores desarrollado para el estudio se presenta en la Figura 04. De acuerdo a los resultados del mapeo, se resalta lo siguiente:

- En relación a los cuatro grupos de interés, se aprecia una variedad de actores con distintos niveles de relación o involucramiento.
- Por una parte, las comunidades afectadas y la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) son los actores más importantes o influyentes en la escala local, por el control territorial y modificación de paisaje que ejercen.
- Según un reporte de 2016 de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), varios habitantes de Yungas de Vandiola han invadido 642 hectáreas con plantaciones de coca en la línea roja o zona de conservación estricta del parque nacional.
- La producción de energía tendrá un costo muy alto para la biodiversidad del lugar, siendo que se trata de un ecosistema frágil con alta presencia de flora y fauna, donde muchas especies son territoriales, y que al reubicarse morirían al ser reintroducidas en otra zona. Si bien, ENDE insiste en que los planes de mitigación reducirán “al mínimo” el impacto a la biodiversidad, varios especialistas consideran poco creíble que puedan trasladar la fauna, tomando en cuenta las dificultades técnicas para atraparlas, los altos costos y las limitaciones ecológicas.
- El gobierno nacional y SERNAP, mantienen un vínculo intenso entorno a la proclamación del vivir bien, sin embargo, en los hechos tienen un accionar permisible que pone en riesgo el patrimonio natural y cultural. Con la implementación de la hidroeléctrica Ivirizu se despejarán 500 hectáreas de bosque dentro del área protegida (Parque Nacional Carrasco).

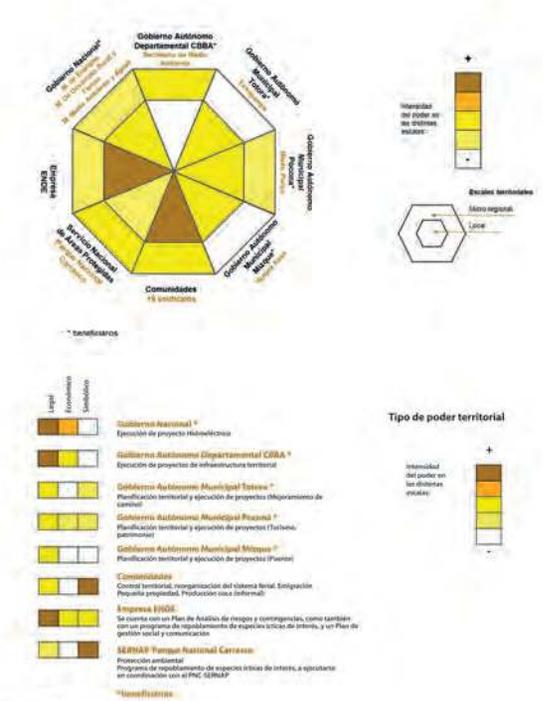
Figura 05

Conformación de poderes Territoriales - PHI

- En cuanto a los beneficiarios, estos mantienen relaciones medias y esporádicas, ello porque es exigua la gestión e intervención territorial en los últimos años por la reducción de presupuestos municipales y departamentales.

En cuanto a "Poderes territoriales" de los actores sociales de la Hidroeléctrica de Ivirizu, se establece lo siguiente:

- A nivel de la configuración y las dinámicas territoriales resulta claro que la implementación de la represa y las líneas de transmisión, producirán transformaciones importantes en el paisaje y afectación a la biodiversidad.
- A nivel productivo, la economía campesina de las comunidades mantiene un importante dinamismo en la micro-región, ello por los circuitos comerciales feriales de Totorá, Rodeo Chico y Yuthupampa en los valles, como también por la producción de coca en la zona de los yungas.
- Dada las difíciles condiciones de producción, en los últimos años se ha manifestado con más fuerza la emigración de la población rural a las ciudades o al extranjero. Sin embargo, también se ha dado un proceso de repoblamiento mínimo de las tierras de los yungas.
- El aprovechamiento turístico de los recursos patrimoniales en la micro-región se centra en Incallajta y Totorá. Cabe recalcar que se aprecia una visión localista (municipal) que impide pensar en un circuito turístico micro-regional.
- Las escalas de poder territorial de los actores son distintos, pero los más incidentes y de impacto radica en las prácticas territoriales de las comunidades campesinas (parcelación territorial por la pequeña propiedad, la plantación de coca en área protegida) y la implementación de la hidroeléctrica Ivirizu por parte de ENDE, ambos actores determinan la transformación del paisaje. La modificación del cauce hídrico y afectación de la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia, julio, 2022.

En base a lo anterior la conformación de "Poderes Territoriales", se presenta en la Figura 05.

**Matriz de Impacto (criterios/alternativas)**

Esta matriz valora la evolución de los indicadores de los impactos socio ambientales representados por los factores ambientales como criterios de análisis en relación a la alternativa identificada de emplazar el proyecto de acuerdo a los posibles emplazamientos: i) El PHI, como unidad actualmente ubicada en la cuenca Ivirizu en etapa de ejecución; ii) cuenca aledaña (Cuenca Cristal Mayu) y que se encuentra descrita en el EEIA del PHI; iii) como tercera opción de análisis, se registra una ampliación del PHI aguas abajo sobre la cuenca Ivirizu, como parte de una segunda fase del PHI y que actualmente se vienen realizando estudios técnicos sobre su diseño.

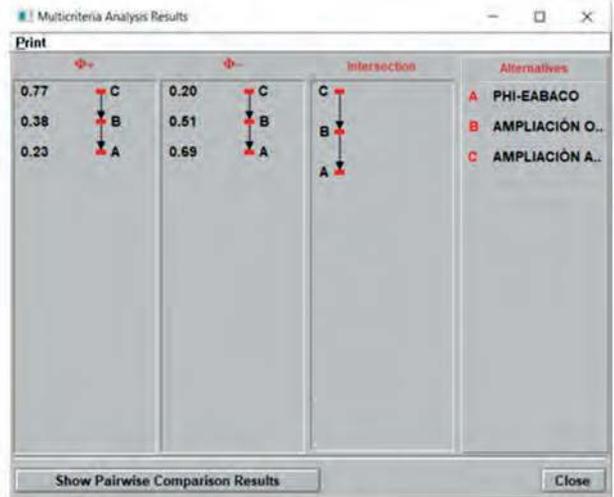
Una vez definido los lugares de emplazamiento, se procesa la información referida a los impactos socio ambientales previamente jerarquizados y que se constituyen en indicadores del análisis multicriterio

Figura 06  
Matriz de impacto - NIAIDE

Alternativas	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	-38	-48
ECOLOGÍA	-32.28	-40	-50
SUELOS	-23	-23	-23
PERTURBACIÓN SOCIO CULTURAL	ore or Less B:	More or Less Bad	Bad

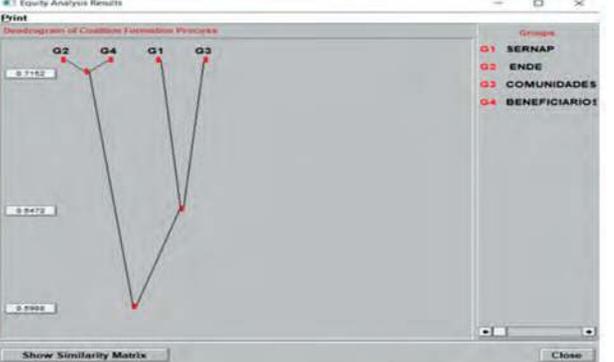
Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022.

Figura 07  
Resultados de la Matriz de impacto NIAIDE



Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022.

Figura 08  
Dendograma - Resultados de la Matriz de equidad - NIAIDE



Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022.

del programa NIAIDE, valoración cuantitativa que se registra en la matriz de impacto para los factores ambientales de flora, fauna, agua, suelo, paisaje y ecología; y de manera cualitativa para el factor social, tal como registra captura de pantalla presentada en Figura 06.

Una vez introducido los datos en el programa NIAIDE, para los tres emplazamientos, el programa determina que el PHI identificado como PHI -EABACO, es el que presenta un mejor desempeño ambiental en relación a los otros emplazamientos y representa que el grado de afectación al ecosistema intervenido es menor en relación a su ubicación sobre la cuenca aledaña o en la misma cuenca aguas abajo, tal como presenta los resultados de la matriz de impacto en Figura 07.

Concluyendo que, de acuerdo con los indicadores introducidos y bajo los parámetros del modelo, la evaluación dice que en términos de la sustentabilidad del proyecto el emplazar el PHI en la cuenca Ivirizu presentó un mejor desempeño que ubicarla en la cuenca Cristal mayu, pero también determina que emplazarla aguas abajo sobre la cuenca Ivirizu tendrá un desempeño desfavorable ambientalmente, en relación a los dos lugares anteriores.

**Desarrollo de matriz de equidad**

En la matriz de equidad se incluyen 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. El resultado, generado a partir de un algoritmo matemático que utiliza las distancias semánticas y que arroja el NIAIDE, es un "dendograma" de coaliciones, que expresa las posibilidades de coalición y/o el nivel de conflicto entre los cuatro los grupos de interés identificados, resultados que se representan en el dendograma en Figura 08.

El Dendograma de coaliciones anterior visualiza, como se estructuran los potenciales intereses comunes entre los grupos propuestos, que según los resultados obtenidos se asocian 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.

Basado en estos elementos 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.

- Este análisis refleja que, si bien existen posiciones marcadas de acuerdo a los intereses de los grupos, no existe una posibilidad concreta de la creación de conflictos, debido al poder de opinión pública que otorga la institucionalización del grupo primero. Bajo este panorama el diagnóstico se vuelve aún más grave pues el camino de la sustentabilidad ambiental del proyecto que incluye un trato equitativo de todos los grupos de interés, se ve afectado por dos problemas: a) la ausencia de un tratamiento integral de la sustentabilidad y b) la percepción de la población y de los grupos de interés que no dan señales de enfrentar este problema de una forma responsable.

### **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 a su línea base sobre el medio intervenido.

Sobre los tres 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 tres escenarios de análisis:

- Escenario No.1 PHI EABACO - AMPLIACIÓN CUENCA ALEDAÑA.
- Escenario No.2 PHI EABACO - AMPLIACIÓN CUENCA AGUAS ABAJO.
- Escenario No.3 AMPLIACIÓN CUENCA ALEDAÑA - AMPLIACIÓN CUENCA AGUAS ABAJO.

En las Figuras 09, 10 y 11 se observa la comparación de escenarios en pares para cada uno de los criterios evaluados, los que se encuentran graficados en las barras verticales; de esta forma el criterio C1 corresponde al criterio de afectación sobre la flora, hasta el C7 que corresponde al criterio perturbación "socio cultural", análisis que se presenta por escenario a continuación:

- Escenario No.1 PHI EABACO (Ivirizu) vs. AMPLIACIÓN CUENCA ALEDAÑA (Cristal Mayu)

El propósito de realizar esta comparación, es 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 que el proyecto a diseño final 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).

Aquellos 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, tal como se muestra en Figura 09.

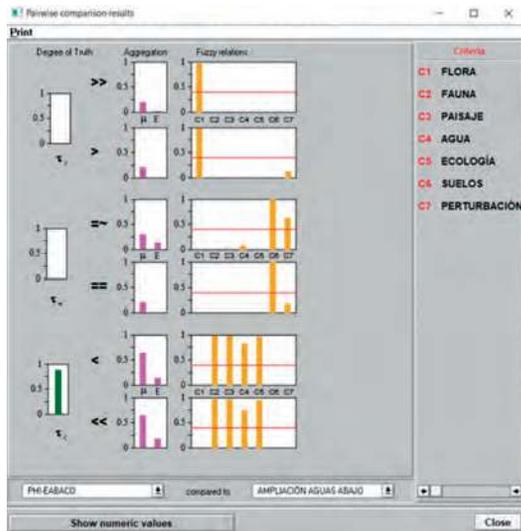
Resultado de este ejercicio académico y evaluando entre ambas posibilidades, el método NAIADe corrobora la decisión tomada en sentido a emplazar el proyecto sobre la cuenca Ivirizu, ya que los resultados confirman un mejor desempeño ambiental para los factores fauna y agua, es decir que se ven afectados en menor proporción, aspecto que pone como prioridad la preservación del recurso agua como un recurso generador de energía y con base a un caudal ecológico definido que contribuye a la sostenibilidad ambiental en el marco del concepto de desarrollo energético sostenible del proyecto implementado sobre la cuenca Ivirizu y que responde a las políticas de Estado. En cambio, para los factores ambientales de Flora, Paisaje y Ecología, estos se ven afectados en mayor proporción que en la cuenca aledaña (Cuenca Cristal Mayu). Por lo que, se confirma que los factores de Biodiversidad se verán severamente afectados y requieren el planteamiento de planes de rescate de flora u otros a ser implementados como parte de las distintas etapas del proyecto.

- Escenario No.2 PHI EABACO vs. AMPLIACIÓN CUENCA AGUAS ABAJO

El segundo escenario analizado, tiene el propósito de determinar el cambio de niveles o grados de cambio en los criterios que se consideran como relevantes o no, para la cuenca Ivirizu durante su ubicación actual y ante una posible implementación de una segunda fase sobre la misma cuenca, cabe hacer notar la importancia que tiene este análisis en relación a la línea base identificada como parte del EEIA y que refleja el estado

Figura 09

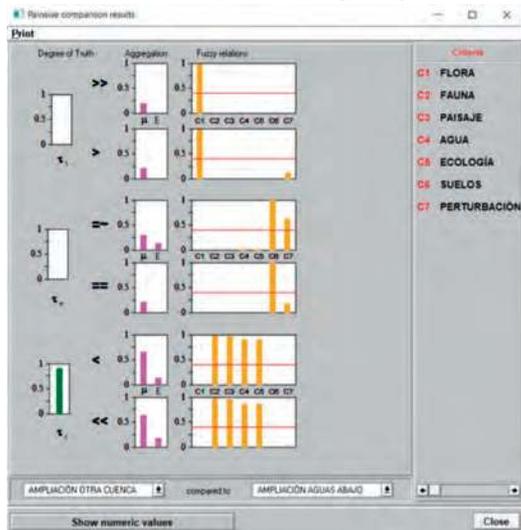
Escenario 1 - PHI EABACO - Ampliación cuenca Aledaña



Fuente: Programa NAIADe, agosto 2022

Figura 10

Escenario 2 - PHI EABACO - Ampliación cuenca aguas abajo



Fuente: Programa NAIADe, agosto 2022

inicial sobre el medio intervenido, ya que una segunda fase consideraría implícitamente los impactos agregados y/o acumulados como efecto de la implementación de las dos fases.

Del gráfico del Escenario No.2, se determina que una ampliación del proyecto aguas abajo, el Factor flora es el que 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 en relación a lo que se ocasionó con la implementación del PHI en una primera fase; sin embargo, es importante resaltar la importancia de la afectación que tiene la biodiversidad, como componente ambiental representativo de las áreas protegidas en el espacio intervenido.

Así mismo, 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 y que debe analizarse de manera puntual para que esta no represente una condicionante de la sustentabilidad del proyecto en caso de ampliarse aguas abajo.

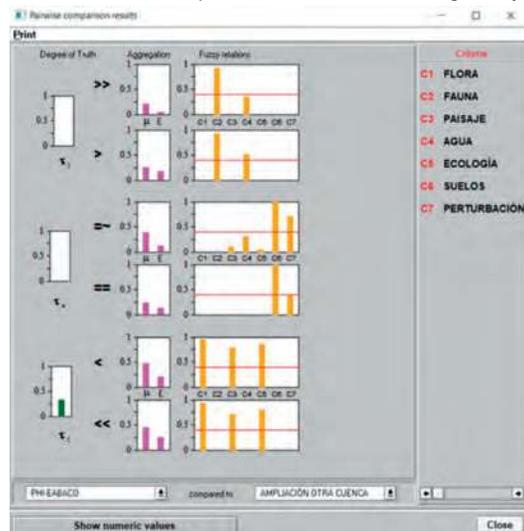
- Escenario No.3 AMPLIACIÓN CUENCA ALEDAÑA vs. AMPLIACIÓN CUENCA AGUAS ABAJO

Este escenario se plantea para cuestionar el desarrollo de una segunda fase del PHI, toda vez que esta opción de ampliación debe considerar el componente de Biodiversidad como componente decisivo y que se sustente sobre una evaluación de la sustentabilidad ambiental del entorno intervenido.

Resultado de la implementación del NIAIDE, el gráfico No.11 presenta un comportamiento similar a los obtenidos en el escenario comparativo No2 (entre el proyecto objeto de estudio de caso y el de aguas abajo), con la diferencia que ahora es necesario condicionar la implementación de una segunda fase con base al factor biodiversidad, puesto que comparativamente se tiene una menor afectación en la cuenca aguas abajo que sobre la cuenca aledaña.

Del gráfico anterior, al igual que en el Escenario 2, los factores de fauna, paisaje, agua y ecología se verán seriamente afectados en caso de desarrollar una ampliación por la cuenca aledaña (Cristal Mayu), por lo tanto, se presentan como condicionantes de la sustentabilidad ambiental del entorno. En cambio, la ampliación por la misma cuenca de la primera fase (Ivirizu) se ve condicionada por el factor flora, motivo por el que el trazado y determinación de la superficie del Área de Influencia Directa es un elemento decisivo a ser evaluado. Los factores Suelo y Perturbación socio cultural no presentan un cambio significativo en su evaluación comparativa. Ahora bien, el factor de perturbación presenta modificaciones en cuanto a su desempeño ambiental e incluso se identifica como negativo ante una implementación aguas abajo, aspecto que debe considerar en un estudio específico.

Escenario 3 - Ampliación: cuenca aledaña - Cuenca aguas abajo



Fuente: Programa NIAIDE, agosto 2022

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados, la ampliación del proyecto hidroeléctrico en una segunda fase por la misma cuenca aguas abajo es más apropiada en relación a una intervención en una cuenca aledaña, siempre y cuando se realicen estudios específicos sobre el factor flora y de perturbación socio cultural ante

una inminente expansión de la frontera agrícola, para lo cual se deberá definir medidas de mitigación desde la etapa de diseño y factibilidad para su desarrollo durante todas las etapas del proyecto.

Desde una evaluación externa, si bien los resultados del estudio confirman una decisión acertada para la implementación del PHI acorde a las políticas de estado, su ampliación debe cuestionarse, debido a los resultados de alto impacto que refleja el mismo estudio sobre los factores de biodiversidad en los tres espacios analizados. Toda vez que estos se ubican en zona de reserva ambiental (APs) que, pese a la implementación de medidas de mitigación y controles ambientales posibles, como estrategias propuestas en la etapa de diseño del proyecto, estas no representan una factibilidad técnica y económicamente viable, en aspectos específicos como el traslado de fauna y otros relacionados a expansión de la frontera agrícola. Requiriendo una articulación por medio de políticas y recursos legales que permitan una intervención responsable y sustentable en el marco del desarrollo energético sostenible del país.

Por tanto, se concluye que la aplicación de una herramienta multicriterio:

- Contribuye a una determinación de la viabilidad ambiental de los proyectos Hidroeléctricos por medio de una valoración cuantitativa de los impactos socio ambientales para su validación a través del uso de paquetes computacionales, como el software EABACO, plataforma de jerarquización y NAIADE, herramientas que reducen la incertidumbre ocasionada por el uso de métodos convencionales de EIA.
- Al aplicar el método NAIADE como herramienta de EIA de proyectos hidroeléctricos, además de combinar las variables cualitativas y cuantitativas de forma coherente, involucra al factor social cultural como un elemento decisorio a la hora de establecer sustentabilidad ambiental de estos proyectos.
- Presenta un ordenamiento ambiental predicho sobre los distintos factores ambientales analizados, ante la posibilidad de ampliar el PHI y que requieren estudios específicos para garantizar su viabilidad ambiental en el marco del Desarrollo energético sostenible.

Finalmente, el uso de herramientas multicriterio debe contemplarse a la hora de establecer metodologías de evaluación de impacto ambiental en el marco de normativas actualizadas en cuanto a sus procedimientos de implementación, como parte de los estudios de evaluación de impacto ambiental.

## Referencias



- 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.
- Arboleda J. (2005) Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades, Medellín. 58-94.
- Bitre Y. (2020) Evaluación de Impactos Ambientales para Proyectos de Ingeniería Civil Empleando el Método de Battelle - Columbus y Desarrollo de un Software Metodológico, UMSA, La Paz, 73-133.
- Castro M., Meyén G. y Ospina J. (2019) Impactos Ambientales, Sociales y Culturales de Hidroeléctricas, KONRAD ADENAUER STIFTUNG e.V., Plural Editores, La Paz, 15.
- Coneza V. (2009) Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, 4 Ed, Mundi - Prensa, Madrid, 420-787.

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>

Garmendia A., Salvador A., Crespo C. y Garmendia L. (2005) Evaluación de impacto ambiental, PEARSON EDUCACIÓN S.A., Madrid, 226 - 279.

Gómez D. (2002) Evaluación de impacto ambiental, 2ed, Mundi - Prensa, Madrid, 521-652.

Gudynas (2011) Ensayo Desarrollo y sustentabilidad ambiental: Diversidad de posturas, tensiones persistentes, Universidad de granada, 2011.

Hartley R. (2010) Aplicación de un análisis de múltiples criterios en gestión hídrica local, *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 14: 13-32.

Joint Research Centre - EC, ISPRA SITE (1996) NAIAD E Manual y Tutorial, Italy.5-40.

López O., Fernández R., Magro S., Sopeña 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.

Moscoso D., Oleas A. (2006) Economía Ambiental y Economía Ecológica: Aplicaciones en Herramientas Participativas para la toma de Decisiones en el uso del Páramo de las Comunidades Nueva Tondolique e Illagua Grande, Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología, Azuay, Ecuador, 30-37.

Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (2016). Investigación acción, una estrategia, un proceso en marcha. Informe Mundial sobre las Drogas.

Riascos E. (2010) El Análisis multicriterio en la Gestión de la Biodiversidad, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 81-90.

Salas A., Colomo C., Argandoña W. (2020) Memoria institucional del desarrollo de la Jerarquía de Mitigación en el Sector Eléctrico de Bolivia Gestiones 2017,2018,2019 y 2020. Ministerio de Energías - Wildlife Conservation Society, Bolivia, 3-19.

Sturich, M. (2011), Programa integral de rehabilitación áreas históricas Cochabamba, PRAHC - UMSS, Bolivia

Swisscontact Bolivia (2015). Propuesta metodológica para el Ordenamiento Territorial en áreas con actividad industrial de pequeña escala.

Vallejo, M. C. (2013). Seguridad Energética y Diversificación en América Latina: el caso de la hidroenergía. *Retos: Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 3(6), 152-169.

Wildlife Conservation Society (WCS), Conservation Strategy Fund (CSF) y Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). (2019) Guía técnica para la Aplicación de la Jerarquía de Mitigación en Áreas Protegidas. La Paz, Bolivia, 10-40.

WWF Bolivia, (2020), Análisis preliminar de proyectos hidroeléctricos en Bolivia, sus impactos ambientales y la complementariedad energética.

