



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**Propuesta de lineamientos generales para la  
identificación y evaluación de impactos  
ambientales acumulativos y sinérgicos de  
proyectos fotovoltaicos: caso planta fotovoltaica  
Choluteca I y II - Honduras**

**Maria Clara Betancur Castrillón**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Maestría en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Medellín, Colombia

2017



# **Propuesta de lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos ambientales acumulativos y sinérgicos de proyectos fotovoltaicos: caso planta fotovoltaica Choluteca I Y II - Honduras**

**Maria Clara Betancur Castrillón**

Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magíster en Ingeniería- Sistemas Energéticos**

Director:

Ph.D Carlos Jaime Franco Cardona

Codirector:

Miguel Víquez Camacho

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Área Curricular en Sistemas e Informática

Medellín, Colombia

2017



## *Dedicatoria*

*A Dios, por darme la oportunidad y la fortaleza. A mi mamá y familia, por su paciencia y apoyo en todo momento, pese a las adversidades.*

*--El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir.*

*Albert Einstein*



## Resumen

Dada la importancia de conocer cómo se ha realizado el análisis de las implicaciones ambientales, tanto acumulativas como sinérgicas de los proyectos de desarrollo de fuentes de generación no convencionales --como Solar de tipo Fotovoltaica-- se realizó una revisión de literatura, que incorporó una síntesis estratégica de múltiples trabajos de investigación y de ejecución primaria respecto al objeto de estudio. En la revisión de literatura, se encontró que, a nivel internacional, las metodologías de evaluación ambiental como la Matricial y el Análisis de Ciclo de Vida son las más utilizadas para el alcance de estudios ambientales; sin embargo, dada la carencia de información sobre impactos acumulativos y sinérgicos para proyectos en general hace que la información sobre análisis en proyectos solares -fotovoltaicos sea escasa. Debido a esto, se realizó un análisis de ciclo de vida con datos de la Planta Solar Fotovoltaica CHOLUTECA I Y II como análisis comparativo al método matricial utilizado en su Estudio de Impacto Ambiental mediante Envision, creación de Zofnass Program. Esto permitió evidenciar los elementos ambientales no concluyentes de cada una de las metodologías consideradas y como análisis complementario, se suministró cartografía de información ambiental importante mediante análisis espacial con sistemas de información geográfica. Como resultado de esta investigación, se proponen unos lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos ambientales acumulativos y sinérgicos de proyectos fotovoltaicos, que sirva como método práctico de los ejercicios de planificación territorial, tanto ambiental como energética.

**Palabras clave: Metodología, Evaluación Ambiental, Impacto Ambiental, Acumulación, Sinergia, Evaluación Matricial, Análisis de Ciclo de Vida.**

## **Abstract**

Due to the importance of knowing how the analysis of the environmental, cumulative and synergistic implications of the projects of development of unconventional sources of generation - like Solar of the Photovoltaic type - was carried out, a systematic review of literature, that incorporated a strategic synthesis of multiple research works and primary execution regarding the object of study. In the systematic review, it was found that, at an international level, environmental assessment methodologies such as Matrix and Life Cycle Assessment are the most used to reach environmental studies; however, as a result of the lack of information of cumulative and synergistic impacts for projects in general, makes that the information on analysis in solar-photovoltaic projects is scarce. Due to this, a life cycle analysis was performed with data from the Choluteca I and II Photovoltaic Plant as a comparative analysis to the matrix method used in its Environmental Impact Study through Envision, creation of Zofnass Program. This allowed to evidence the inconclusive environmental elements of each of the methodologies considered and as complementary analysis, important environmental information mapping was provided through spatial analysis with geographic information systems. As a result of this research, general guidelines are proposed for the identification and evaluation of cumulative and synergic environmental impacts of photovoltaic projects, which serves as a practical method of territorial planning exercises, both environmental and energy.

**Keywords: Methodology, Environmental Assessment, Environmental Impact, Accumulation, Synergy, Matrix Evaluation, Life Cycle Assessment.**

## CONTENIDO

	Pág.
1. Antecedentes.....	5
2. Marco Teórico.....	7
3. Revisión de Literatura.....	13
4. Resultados Metodología Matricial.....	34
5. Resultados Metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	46
6. Elementos de Análisis Ambiental faltantes a cada metodología.....	60
7. Lineamientos de Identificación y Evaluación de Impactos.....	64
8. Conclusiones.....	74
9. BIBLIOGRAFIA.....	89

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1-1 Referencias clasificadas por tipo de metodología de evaluación ambiental .....	15
Tabla 3.2-1 Impactos ambientales identificados en la fabricación de Celdas fotovoltaicas.....	21
Tabla 4.1-1 Categorías y subcategorías del análisis matricial sistema Envision .....	34
Tabla 4.1-2 Nivel de cumplimiento de los indicadores.....	35
Tabla 4.1-3 Calificación Máxima Otorgable para la Evaluación Ambiental del Sistema.....	38
Tabla 4.1-4 Calificación Máxima Otorgada para la Evaluación Ambiental del Sistema.....	38
Tabla 4.2-1 Análisis de los impactos acumulativos y sinérgicos del estudio de impacto ambiental ....	41
Tabla 4.3-1 Categorías analizadas en el sistema Matricial.....	42
Tabla 4.3-2 Nivel de Cumplimiento de los indicadores.....	43
Tabla 4.3-3 Relación de impactos acumulativos y sinérgicos EIA Choluteca II .....	45
Tabla 4.3-1 categorías de análisis contenidas en las bases de Datos Ecoinvent. ....	46
Tabla 5.1-1 Cifras de interés para el ACV del Sistema de Generación Fotovoltaico .....	47
Tabla 5.1-2 Fuentes bibliográficas complemento de datos para ACV por etapas.....	48
Tabla 5.1-3 Listado de procesos por etapa del ciclo de vida .....	50
Tabla 5.2-1 Clasificación de las metodologías ACV analizadas en Umberto NTX LCA.....	56
Tabla 5.2-2 Resultado de los aspectos e impactos que arroja el análisis de ciclo de vida.....	57
Tabla 5.3-1 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –VECs .....	67
Tabla 5.3-2 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Caracterización.....	68
Tabla 5.3-3 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Zonificación Ambiental.	69
Tabla 5.3-4 Fase de Evaluación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –ACV .....	70
Tabla 5.3-5 Fase de Evaluación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Ponderación.....	71
Tabla 5.3-6 Proximidad del Impacto Identificado con el proyecto (X-Y-Z-W).....	72
Tabla 5.3-7 Tipología del Proyecto (X-Y-Z-W) .....	72
Tabla 5.3-8 Temporalidad del Impacto por el tipo de proyecto (X-Y-Z-W).....	72
Tabla 5.3-9 Categorías de Clasificación de la Sinergia para Impactos Identificados .....	72
Tabla 5.3-10 Categorías de Clasificación de la Acumulación para Impactos Identificados.....	73
Tabla 5.3-11 Matriz de interacción Simple (MIS) para Acumulación y Sinergia.....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2-1 Ubicación Geográfica de las plantas solares Choluteca I y II- Honduras.....	6
Figura 2.2-1 Esquemas normativos para la evaluación ambiental de proyectos .....	11
Figura 2.3-1 Proceso metodológico para la revisión de literatura. ....	14
Figura 3.2-1 Criterios y características para la evaluación ambiental por método matricial .....	18
Figura 3.2-2 Esquema metodológico de un proceso de análisis de ciclo de vida .....	20
Figura 3.2-3 Proceso de reciclado inteligente de paneles .....	22
Figura 3.2-4 Resultados de impactos en el reciclaje de Celdas fotovoltaicas.....	22
Figura 3.3-1 Esquema metodológico para evaluación de impactos acumulativos .....	25
Figura 3.3-2 Esquema metodológico para evaluación de impactos acumulativos .....	26
Figura 3.4-1 Impactos ambientales identificados en proyectos fotovoltaicos.....	30
Figura 3.6-1 Esquema Metodológico para la consecución de los objetivos.....	33
Figura 5.3-1 Sistema de calificación de los métodos de Evaluación Ambiental.....	60
Figura 5.3-2 Equivalencias entre las Metodologías Matriciales y de Análisis de Ciclo de vida .....	63
Figura 5.3-1 Lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos .....	66

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Infraestructura Vial, Infraestructura de Vivienda y Sistema de Pendientes.....	79
Anexo 2 Cuencas Hidrográficas, Red Hidrográfica, Cuerpos de Agua y Sitios de Riesgo.....	80
Anexo 3 Quebradas, Ríos y otros cuerpos de agua, cerca de las plantas solares Choluteca I y II....	81
Anexo 4 Unidades litológicas (geología) y susceptibilidad a incendios.....	82
Anexo 5 Clasificación de los usos de suelos a nivel país .....	83
Anexo 6 Clasificación hidrogeológica de acuíferos subterráneos a nivel país. ....	84
Anexo 7 Clasificación de las coberturas Vegetales a nivel país. ....	85
Anexo 8 Áreas protegidas (2008) y Microcuencas protegidas (2011).....	86
Anexo 9 Clasificación de prospectiva forestal a nivel país. ....	87
Anexo 10 Sitios arqueológicos, Redes de distribución eléctrica y Subestaciones .....	88

## Introducción

Es bien sabido a nivel mundial y a manera de preocupación creciente que “Desde el comienzo de los tiempos los seres humanos han usufructuado de una gran variedad de recursos naturales para satisfacer sus necesidades” (Páez, 2013b). En el proceso, las ciudades e industrias han tratado de modificar el deterioro causado por la relación proyecto- ambiente, bajo el concepto de *sostenibilidad* que se acuña desde la cumbre de Río (Arboleda, 2008), para que logre reducirse, mitigarse o compensarse el posible daño y hacer que los proyectos con miras al desarrollo, sean ambiental, económica y socialmente amigables. En esta búsqueda, se han desarrollado figuras evaluativas, metodologías, técnicas y herramientas tanto para identificar los puntos negativos de los proyectos, y evaluar la magnitud de los mismos, a fin de generar soluciones, acorde a los acuerdos ambientales suscritos a nivel internacional y legislación ambiental vigente.

Es aquí entonces, donde surge la necesidad, de realizar una observación profunda y crítica de dichas técnicas y las herramientas que están siendo utilizadas, para dar solución a la evaluación ambiental integral en los proyectos de desarrollo, sin sufrir el sesgo inherente al uso de una metodología específica. Dado que la generación de energía solar, mediante paneles fotovoltaicos, es una fuente más amigable con el medio ambiente en comparación con otras fuentes convencionales, se pretende establecer un primer acercamiento a las implicaciones ambientales (acumulativas y sinérgicas) tanto negativas como positivas de este tipo de proyectos. Uno de los mayores desafíos que enfrentan actualmente los proyectos de cualquier tipo, para la gestión de riesgos, es precisamente la evaluación y gestión apropiada de los impactos acumulativos asociados con sus actividades comerciales (IFC., 2013).

Esto se evidencia cuando los efectos ambientales devastadores, resultan no ser propiamente a causa los efectos directos de una acción o proyecto en particular, sino de la combinación, sinergia y acumulación de la presión sobre el sistema y los pequeños efectos individuales a lo largo del tiempo (Clark, 1994). De manera similar, sucede con los impactos de tipo sinérgicos, que son una de las últimas incorporaciones a la evaluación de proyectos y planes, en general, y a la evaluación de impacto ambiental, como es el análisis de la sinergia entre impactos; sin embargo, hay poca experiencia para

identificar y evaluar la sinergia (Gómez Orea, Teresa, & Villarino, n.d.). El interés de la presente investigación, se centra entonces en los proyectos de generación eléctrica mediante energía solar fotovoltaica, que, si bien pertenece al grupo de energías renovables, no se cuenta con investigaciones o estudios concluyentes sobre las aproximaciones a los impactos por acumulación o sinergia.

La información fuente para la presente investigación, se tomó principalmente de trabajos de investigación científica y los dos (EIA) Estudio de impacto ambiental asociados a la planta solar fotovoltaica Choluteca I y II- en Honduras, para el análisis contrastado de metodologías como información primaria respecto al objeto de estudio. En cuanto a los resultados de la revisión sistemática e información respecto a la terminología de la investigación, se encontró suficiente material ilustrativo a cerca de generalidades sobre procesos de identificación y evaluación de impactos ambientales, tales como guías y descripciones metodológicas para proyectos en general y con una gama diversa de fuentes y locaciones geográficas.

Se hallaron, además, numerosos estudios sobre el contexto histórico y normativo de la evaluación ambiental y su relevancia en la planificación y ejecución de proyectos. De esta información sobre identificación de impactos y evaluación ambiental, se pudo extraer con amplitud un compendio de definiciones que satisfacen los niveles más externos de la investigación. Conforme se avanzó en la búsqueda sistemática con la información resultante, se encontró escaso material sobre metodologías específicas para la identificación y evaluación de impactos ambientales acumulativos para proyectos en general e insuficiente material sobre resultados de este tipo de impactos, para proyectos fotovoltaicos.

Los resultados de impactos ambientales para proyectos fotovoltaicos, encaminaron la investigación hacia la rama de las metodologías del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) mediante software. Con respecto a los análisis de tipo matricial, no se encontraron resultados para proyectos fotovoltaicos. Se encontraron hallazgos aislados de información clave, en términos de impactos ambientales de proyectos fotovoltaicos, pero ninguno corresponde explícitamente a impactos de tipo acumulativo o sinérgico bajo el LCA. Se encontró un déficit marcado en la definición de metodologías estandarizadas para la identificación de impactos ambientales sinérgicos y nula información que diera cuenta de resultados de evaluación de impactos sinérgicos en proyectos fotovoltaicos.

Para abordar todo el análisis investigativo, se presentará inicialmente, la descripción técnica de la Planta Solar Fotovoltaica Choluteca I y II, en el Capítulo 1 de Antecedentes, donde se describirá en entorno geográfico y ambiental en donde se encuentra emplazado el proyecto que se tomó como base

y los elementos más importantes de dicho estudio. En la sección 1.2, se presentará la delimitación en cuanto al problema de convalidación y equivalencias metodológicas.

Para tener presentes las nociones más relevantes del objeto de estudio, en el Capítulo 2 de Marco Teórico, se presentan tres secciones importantes, el primero corresponde a la sección 2.1, con un compendio de definiciones y terminología; seguidamente, la sección 2.2 de normatividad, con un esbozo de las características normativas en el contexto nacional colombiano y su homologación a las disposiciones de ley, de la Planta Solar en Honduras; asimismo, se encuentra la sección 2.3 de Análisis del entorno, que brinda un primer acercamiento al contenido del estudio de impacto ambiental de Envision.

A continuación, se encuentra el Capítulo 3 de Revisión de Literatura, en el que se resume y esquematiza el funcionamiento de las metodologías de evaluación ambiental, sujetas a comparación, así como los autores y fuentes que llevan los hitos referentes a la producción de conocimiento en el objeto de estudio; esto en las secciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4. Una vez se evidencia la necesidad investigativa, sus puntos críticos y falencias, se plantea tanto el objetivo general como los objetivos específicos en la sección 3.5 de Objetivos y más adelante, en la sección 3.6 de Metodología, se trata al detalle del proceso metodológico que se llevó a cabo para hacer la comparación analítica entre las metodologías tradicionales de evaluación ambiental, aplicado al Proyecto de Choluteca I y II.

El documento continúa con el Capítulo 4 referente a los resultados de la Metodología de Evaluación Matricial y Capítulo 5 para los resultados de la Metodología de análisis de ciclo de vida. Posteriormente, en el Capítulo 6, se presenta aquellos elementos faltantes a cada metodología analizada, con el fin de comparar el método para la identificación y evaluación de la sinergia y la acumulación.

Seguidamente, en el Capítulo 7 se plantean los lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos en proyectos fotovoltaicos, con énfasis en acumulativos y sinérgicos.

Para finalizar, se presentan las conclusiones del trabajo en el Capítulo 8, y algunas recomendaciones para futuras investigaciones. El documento termina con un apartado de Anexos y referencias bibliográficas que sustentaron el estudio desde diferentes expertos y fuentes bibliográficas.



# 1. Antecedentes

## 1.1 Descripción del proyecto Choluteca I y II.

El proyecto solar Fotovoltaico Choluteca I y II, consta de dos centrales situadas en 151 Hectáreas con módulos fotovoltaicos, oficinas administrativas, inversores de corriente, edificios de control, una subestación y ascensores a la subestación de la región de Choluteca en el sur de Honduras. La capacidad de estas plantas es de 58 MWp (SunEdison-Hardvard et al., 2016). El proyecto se encuentra ubicado en localidades de la comunidad de San José de la Landa y de la ciudad de Choluteca, Honduras. La central Choluteca I consiste de 16 subcampos de 76,320 células fotovoltaicas con una capacidad nominal de 20MW y la central Choluteca II tiene 23 subcampos de 115,280 células fotovoltaicas con una capacidad nominal de 30 MW. Entre las dos, evitarán anualmente la emisión de 31,810 toneladas de CO<sub>2</sub>” (SunEdison-Hardvard et al., 2016). En la Figura 1.2-1, se puede apreciar de manera general la localización del proyecto y su dimensión; la imagen fue sacada gracias a las imágenes satelitales de ArcGis Earth, antes de que fuera construido el proyecto. Las imágenes que contienen la vista panorámica de las plantas ya construidas pueden verificarse en Google Earth.

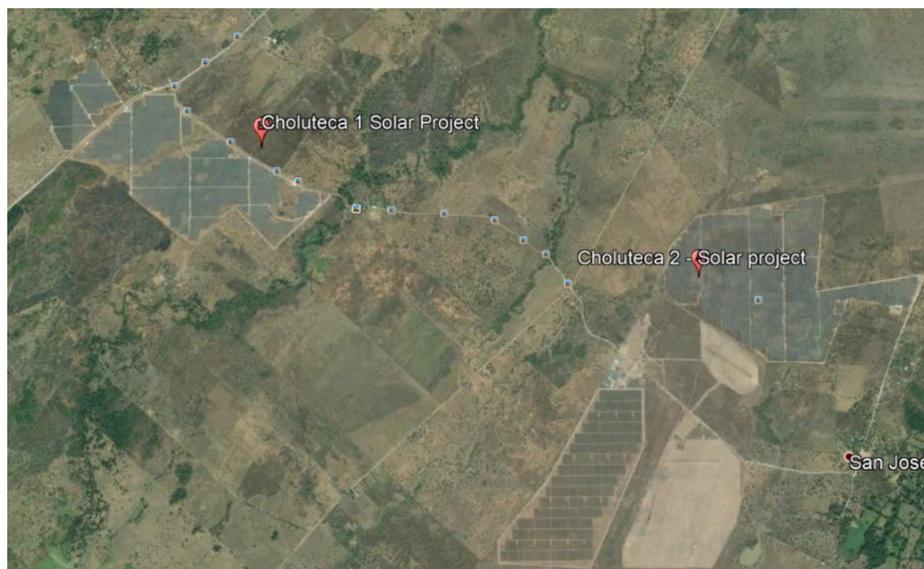
## 1.2 Delimitación del Problema

Para abarcar el tema de las metodologías, y observar de manera comparativa los diferentes métodos de evaluación ambiental, se pretende partir del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la Planta solar Fotovoltaica Choluteca I y II, para realizar un Análisis de Ciclo de Vida, como análisis complementario y comparativo al método matricial.

De manera similar, para comprender los resultados ambientales en términos de impactos, procedentes de la aplicación de cada metodología, se realizará un ejercicio comparativo de los resultados de ambos métodos, partiendo desde sus aspectos ambientales y sus alcances dentro de las estrategias de manejo que se plantean de manera final a una evaluación ambiental; en caso de encontrar elementos ambientales no identificados bajo la mirada de ambas metodologías, se pretende complementar esta información a manera ilustrativa, teniendo en cuenta las limitaciones tradicionales del acceso a información secundaria.

**Figura 1.2-1 Ubicación Geográfica de las plantas solares Choluteca I y II- Honduras**

Fuente: observación en ArcGis Earth, fotografía satelital 2017



Fuente: observación en Google Earth, fotografía satelital 2017

Para finalizar, con el fin de determinar aquellos impactos ambientales faltantes, a cada una de las metodologías consideradas, se esclarecerán los puntos críticos de cada metodología y el campo de análisis que no cubren y unos lineamientos generales que permitan la identificación y evaluación de impactos ambientales acumulativos y sinérgicos de proyectos fotovoltaicos, en base al estudio de la planta solar Fotovoltaica Choluteca I y II – Honduras. En conclusión, estos son los puntos críticos que se piensa abarcar el análisis y que se empezaran a describir en el Capítulo 2 de Marco Teórico, mediante la introducción de algunos conceptos fundamentales para sustentar el análisis, y las implicaciones normativas de la evaluación en el área de estudio

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Definiciones

#### 2.1.1 Evaluación Ambiental

La evaluación ambiental es concebida, como “El proceso de identificar, prever, evaluar y mitigar los efectos relevantes del orden biofísico, social u otros de proyectos o actividades, antes de que se tomen decisiones importantes” (International Association for Impact Assessment, 1996). Según (Conesa, 1993) “La evaluación ambiental es un procedimiento jurídico- administrativo que tiene como objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto (...) produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos”. Si bien Arboleda (2008) concibe “la evaluación de impacto ambiental como un instrumento de carácter preventivo, encaminado a identificar las consecuencias ambientales de la ejecución y funcionamiento de una actividad humana, con el fin de establecer las medidas preventivas y de control que hagan posible el desarrollo de la actividad sin perjudicar, o perjudicando lo menos posible, al medio ambiente, está claro entonces que son múltiples los enfoques o procedimientos válidos para hacer una evaluación ambiental”. Este tipo de evaluaciones, según concuerdan todas las definiciones, hacen necesaria la participación de un grupo multidisciplinario de áreas del conocimiento que abarquen la mayor cantidad de problemáticas a la que pueda desembocar un proyecto de desarrollo y que pretender esclarecer las implicaciones positivas y negativas a nivel ambiental.

Cabe resaltar que, en el idioma inglés se refieren a la Evaluación Ambiental en varios términos que incluyen: Assessment, Appraisal y Evaluation. Los tres términos, los explica (Adriana, Torres, Estudios, & Científica, 2012) a continuación. Todos se traducen como evaluación, pero el uso de cada término tiene connotaciones muy precisas:

- ❖ **Assessment:** se usa para determinar una tasa o alguna cantidad, también es utilizado cuando se requiere efectuar una evaluación oficial o para determinar la importancia, el tamaño o valor de algo. Cuando se trata por ejemplo de la Evaluación de Impacto Ambiental se utiliza environmental impact assessment.
- ❖ **Appraisal:** se utiliza principalmente para evaluar propiedades por la autorización de una persona en particular, también se usa para evaluar una situación o un hecho.

- ❖ **Evaluation:** se utiliza para fijar la significancia, el valor o condición de algo o de un estudio.

### 2.1.2 Impacto Ambiental

Por otro lado, el impacto ambiental se considera un cambio generalizado comparado con las condiciones iniciales de un sistema en estudio. Otra definición, cita que “El impacto ambiental es el cambio que se ocasiona sobre una condición o característica del ambiente por efecto de un proyecto, obra o actividad y que este cambio puede ser benéfico o perjudicial ya sea que la mejore o la deteriore, puede producirse en cualquier etapa del ciclo de vida de los proyectos y tener diferentes niveles de significancia” (Arboleda, 2008). Una de las primeras definiciones, plantea que “El impacto ambiental, visto como la alteración de la calidad ambiental resultante de la modificación de los procesos naturales o sociales provocada por la acción humana (International Association for Impact Assessment, 1996) sin embargo, resulta muy ambiguo --si se quiere-- pues integra un nuevo concepto de “calidad” que hay que parametrizar y muchos de los factores ambientales y sus cualidades aún hoy son incuantificables. Por otro lado, la identificación de un impacto ambiental, corresponde a la “determinación de la existencia de un cambio en alguna de las condiciones ambientales por efecto de una acción del proyecto. Básicamente es el procedimiento de interrelacionar las ASPI<sup>1</sup> y las FARI<sup>2</sup>, para determinar donde se generan cambios en los factores ambientales” (Arboleda, 2008).

### 2.1.3 Aspecto Ambiental

El aspecto ambiental, es aquel ámbito en donde una actividad asociada a un proyecto, ejerce un cambio o genera un impacto. Otra definición indica que “Un aspecto ambiental, es cualquier elemento de las actividades (...) que pueden interactuar recíprocamente con el ambiente, indicando la existencia potencial de un impacto ambiental negativo o positivo” (ICONTEC, 2004). El aspecto ambiental se debe entender entonces como “Un resultado, consecuencia, salida o producto de un ASPI con capacidad de generar un impacto ambiental” (Arboleda, 2008).

---

<sup>1</sup> ASPI. Acciones susceptibles de producir impacto: acciones del proyecto que están relacionándose de cualquier manera con el medio ambiente, porque son éstas las que producirán, directa o indirectamente, los cambios en algunos de los componentes de dicho entorno (Arboleda, 2008).

<sup>2</sup> FARI. Factores ambientales representativos del impacto: desde el punto de vista de la EIA, la caracterización del ambiente se debe enfocar en aquellos atributos del mismo que pueden resultar mayormente afectados por las distintas acciones del proyecto (las ASPI) en cada una de sus fases (Arboleda, 2008).

### 2.1.4 Efecto Ambiental

En concordancia, el efecto ambiental corresponde a la “Alteración de un factor ambiental y define impacto como la valoración de dicho efecto o sea su interpretación en términos de salud y bienestar humanos” (Conesa, 1993). En resumen, el efecto puede entenderse como cualquier afectación del ambiente, sea positiva o negativa y hace parte del análisis del impacto ambiental. Pocos autores hablan del efecto como un concepto diferenciado del Impacto.

### 2.1.5 Factor Ambiental

El concepto de factor ambiental, se tomará como cita la definición de Arboleda, y que menciona que

*“cualquier parte física, subsistema o atributo de los componentes ambientales y que representa una determinada condición ambiental, por lo que se utiliza para la caracterización del ambiente que se propone en este manual. Estos factores son las partes del ambiente que pueden ser afectables o susceptibles de modificación, deterioro o transformación y permiten identificar y en lo posible estimar, ya sea cualitativa o cuantitativamente, los efectos inducidos por una actividad, cuyas características puedan ser igualmente definidas” (Arboleda, 2008).*

### 2.1.6 VECs

Los denominados VECs – **Componentes Valiosos del ecosistema**, se definen como cada parte del ambiente--considerada importante-- por el desarrollador, el público, los científicos y el gobierno involucrados en el proceso de evaluación ambiental. “La importancia debe ser determinada en función de las bases de valores culturales o preocupación científica” (Cumulative Effects Assessment Working Group, Kingsley, Ross, Spaling, & Stalker, 1999). A ésta definición se suma, que los VECs son “aquellos elementos susceptibles de afectación positiva o negativa y que se identifican en el proceso de Estudio de Impacto Ambiental” (Páez, 2013b). Los VECs pueden ser afectados directa o indirectamente por uno o más y que esto genere efectos acumulativos. “Los VEC son los receptores integradores de los impactos acumulativos porque tienden a estar en al final de los procesos ecológicos” (IFC., 2013).

### 2.1.7 Acumulación

La acumulación es un criterio que evalúa al incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de manera iterativa la acción que lo genera. Cuando una acción no produce efectos

acumulativos, el efecto se considera “bajo”, y conforme se van sumando los efectos en valor se incrementa (Adriana et al., 2012). En términos ambientales y asumiendo una adicionalidad lineal (que no considera efectos sinérgicos), el efecto acumulativo de dos acciones será usualmente distinto al efecto individual o incremental de cada una de ellas, a menos de que la incidencia de una de ellas sea nula, en cuyo caso el resultado agregado sería igual al efecto incremental de la otra acción (Páez, 2013b). Por razones prácticas, la identificación y gestión de los impactos acumulativos “Se limita a los efectos que generalmente son reconocidos como importantes en base a preocupaciones de la comunidad científica” y/o inquietudes de las comunidades afectadas (IFC., 2013). Es importante mencionar, que en varias de las fuentes consultadas, se llega a la premisa de que quienes identifican los impactos acumulativos causados por algún proyecto, no son los únicos responsables de la ocurrencia y significancia del impacto acumulativo y por ende, su respectiva medida de manejo debe estar a cargo de un grupo de actores involucrados; esto supone una dificultad inherente a la gestión logística y económica de un posible plan de manejo ambiental o un plan de mitigación de dichos efectos.

### **2.1.8 Sinergia**

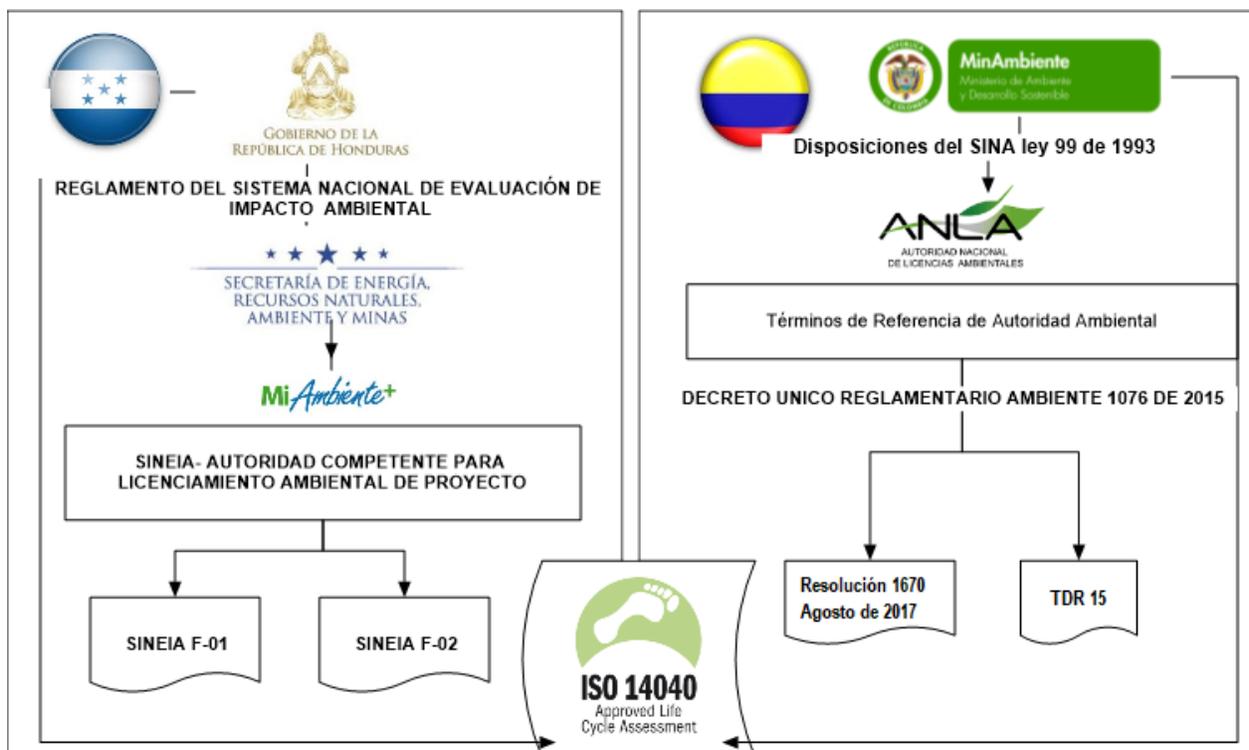
La sinergia es el atributo que contempla el reforzamiento de dos o más efectos o impactos singulares o aislados. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea. Cuando una acción actuando sobre un factor no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el valor es bajo, conforme se va presentando el valor se va incrementando. “En casos de debilitamiento del atributo ambiental, la valoración del efecto tiene valores negativos, incrementando la importancia del impacto” (Adriana et al., 2012). Un impacto sinérgico, sería entonces el que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones que “supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente” (Conesa, 1993).

## **2.2 Normatividad Ambiental en Colombia y Honduras**

En el caso colombiano, las disposiciones de ley para el tema ambiental, contemplan una serie de evaluaciones de las posibles afectaciones, en términos de los componentes físico, biótico y socioeconómico para los impactos significativos al medio ambiente, los cuales se llevan a un proceso de clasificación y ponderación para luego, dando prioridad a los más críticos, se puedan establecer

medidas de manejo y mitigación a dichos impactos. Para ello, existen las directrices de los términos de referencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, bajo la vigilancia del Ministerio de Ambiente, en todo el marco normativo ambiental. Para el caso de Honduras, se tiene un proceso muy similar con el Gobierno Nacional como ente que observa el cumplimiento de las directrices del Reglamento del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental, el cual es vigilado por la Autoridad ambiental en cabeza de la Secretaria de Energía, recursos naturales, medio ambiente y minería. Estas entidades tienen una serie de disposiciones a nivel ambiental, contempladas en el SINEIA que se encarga de los procesos de licenciamiento ambiental. Se puede vislumbrar entonces, que Honduras, al igual que Colombia, tiene un sistema ambiental de monitoreo de proyectos, que vela por el cumplimiento de la ley en cuanto al licenciamiento y a la evaluación ambiental. Ambos países tienen un esquema metodológico de evaluación ambiental basado en matrices, pero a nivel internacional, se encuentran cobijados por la ISO140040 e ISO14044 encargadas del tema de evaluación ambiental por medio del análisis de ciclo de vida. En la Figura 2.2-1 se puede apreciar el esquema normativo con las autoridades ambientales de ambos países, para el tema del licenciamiento ambiental de proyectos, sujetos a evaluación ambiental.

**Figura 2.2-1 Esquemas normativos para la evaluación ambiental de proyectos**



Fuente: Elaboración propia a partir de *MinAmbiente.gov.hn* y *Anla.gov.co*

## 2.3 Análisis del Entorno

En el EIA de la Planta fotovoltaica Choluteca I y II, Honduras, hablan de un Sistema llamado Envision® (SunEdison-Hardvard et al., 2016) que les permitió hacer un análisis en cuanto a variables propias de un análisis de ciclo de vida, tales como, la optimización de la sostenibilidad del proyecto de infraestructura durante las etapas de planeación y diseño. Así, se analizaron variables de interés como, la calidad de vida, asignación de recursos, mundo natural, clima, riesgos, y liderazgo. Esta información será utilizada en la validación del método matricial al método del análisis de ciclo de vida para enriquecer el estudio y de manera comparativa, observar si el análisis es suficiente y concluyente bajo las técnicas descritas.

De esta manera entonces, una vez definidos aquellos términos que serán claves en el análisis metodológico y el panorama normativo del área de estudio del proyecto Choluteca I y II, en contraste con el esquema colombiano, procedemos a adentrarnos en aquellos hallazgos o adelantos investigativos que se tengan desde la academia, mediante la revisión de literatura en el capítulo 3. En éste, se afirmarán entonces los objetivos de la presente investigación con sus respectivas limitaciones y la metodología de trabajo.

### 3. Revisión de Literatura

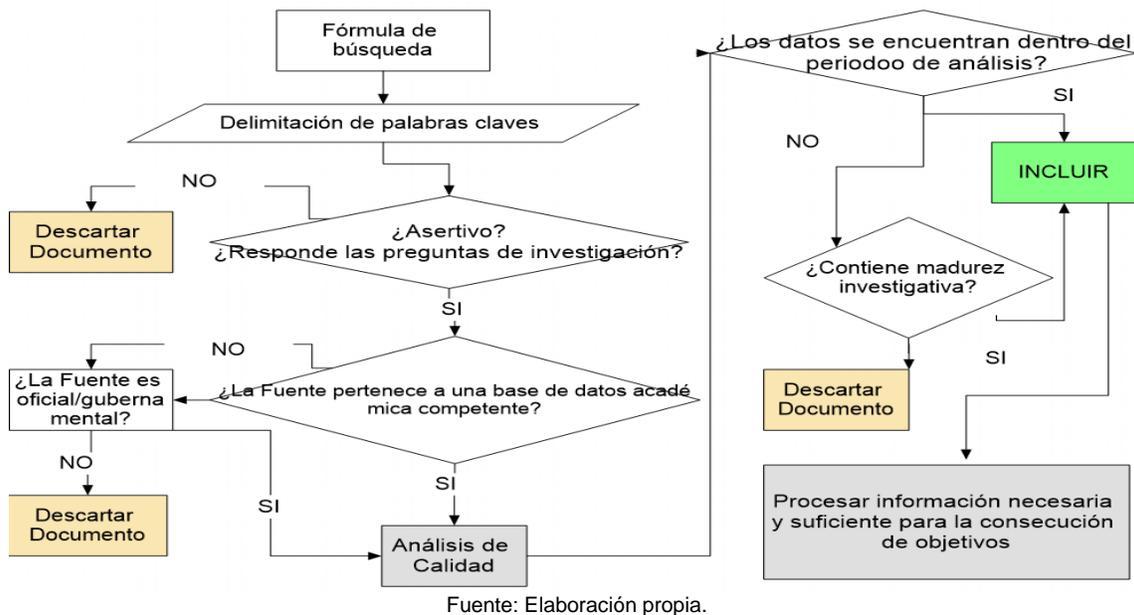
Este apartado, corresponde a una revisión de literatura, que recogiendo elementos de una revisión sistemática de literatura, esta “utiliza herramientas como el meta-análisis, la búsqueda exhaustiva de documentos, pensamiento crítico y un alto nivel de agregación de los hallazgos” (Velásquez, 2014b) con el fin de dar un buen acercamiento al estado del arte en el presente tema de discusión.

Las revisiones sistemáticas de literatura permiten que el proceso de búsqueda sea reproducible, en términos de la claridad en la estrategia de investigación, como auditable, toda vez que se requiera corroborar la información y sus fuentes (Velásquez, 2014a). Para poder abarcar de la mejor manera posible, la cantidad de información existente, se recurren a filtros en la búsqueda de datos, correspondientes a criterios de inclusión y exclusión, existencia de revisiones previas sobre el tema, y periodo cubierto de la investigación.

El periodo de análisis de la presente investigación cubre 11 años, desde 2006 a 2017. Los cuestionamientos que llevan a la formulación de la pregunta de investigación y que, a su vez, delimita el alcance de esta revisión de bibliografía, son aquellos relacionados con la forma en cómo el desarrollo es sopesado frente al daño en el medio ambiente y posteriormente, cómo se identifican y evalúan dichas afectaciones. Dicho esto, la pregunta clave en la presente investigación es: *¿Cómo se Identifican y Evalúan los impactos ambientales, impactos acumulativos e impactos sinérgicos en proyectos fotovoltaicos por medio de metodologías matriciales convencionales y de análisis de ciclo de vida?* la cual será respondida a través del capítulo.

En la Figura 2.3-1, se presenta el esquema metodológico que se siguió para la revisión de literatura del presente estudio.

**Figura 2.3-1 Proceso metodológico para la revisión de literatura.**



### 3.1 Autores

Con respecto a la Figura 2.3-1, se puede afirmar que los criterios utilizados para el “Análisis de calidad” de información proveniente de *Fuentes Oficiales* no encontradas en bases de datos, corresponden en primera instancia, al grado de impacto en la publicación (Leyes, guías metodológicas, compilaciones, publicaciones de fuentes gubernamentales y no gubernamentales) y en segundo lugar, a la calidad investigativa, entendiéndose ésta como el número de países o entidades público-privadas involucradas en la investigación. Para el caso de las fuentes provenientes de bases de datos, el análisis de calidad consideró criterios como: a) capacidad para sugerir un nuevo foco de investigación asociado al tema; b) responde indirectamente a los objetivos de la presente revisión de literatura. En cuanto a los tipos de fuentes utilizadas en ambos casos, luego del análisis de Calidad, se aplicó un filtro para el periodo de análisis, tratando de considerar la “madurez investigativa” de algunos artículos, cuyo periodo fue más extenso, pero que podían hacer parte de revisiones pasadas de estado del arte.

En la siguiente Tabla 3.1-1, se resume por tema académico, el tipo de artículo que se encontró en la búsqueda y a la metodología que hace alusión. Con ello se puede vislumbrar la heterogeneidad en las tendencias y hacia donde se está enfocando la evaluación ambiental y la identificación de impactos ambientales en proyectos fotovoltaicos, incluyendo los conceptos de acumulación y sinergia.

**Tabla 3.1-1 Referencias clasificadas por tipo de metodología de evaluación ambiental**

<b>Palabras claves</b>	<b>LCA</b>	<b>Método matricial</b>
Evaluación Ambiental	(ISO, 2007) (Del Río et al., 2010) (Jungbluth, Stucki, Frischknecht, & Büsler, 2010) (Rocchetti & Beolchini, 2015)	(Conesa, 1993)(Arboleda, 2008)(Páez, 2013b)(Adriana et al., 2012)
Impacto Ambiental	(ISO, 2007) (Jungbluth et al., 2010) (Rocchetti & Beolchini, 2015)	(Conesa, 1993)(Arboleda, 2008)(Páez, 2013b) (International Association for Impact Assessment, 1996)(ICONTEC, 2004) (Adriana et al., 2012)(Bank, 2012)
Impacto Acumulativo		(Conesa, 1993)(Arboleda, 2008)(Páez, 2013b) (Adriana et al., 2012)(Bank, 2012)(Impacts, 2014)
Impacto Sinérgico		(Conesa, 1993)(Arboleda, 2008)(Páez, 2013b) (Adriana et al., 2012) (Melgar, 2016)
VECs		(Bank, 2012)(IFC., 2013) (Páez, 2013b)
Proyecto Fotovoltaico	(Del Río et al., 2010)	(SunEdison-Hardvard et al., 2016)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Metodologías de evaluación ambiental

Es importante partir del hecho de que la evaluación ambiental como práctica obligatoria y sujeta a proyectos de licenciamiento ambiental o fiscalización gubernamental, no es una ciencia exacta, sino que es una actividad relativamente nueva y que muchas de las metodologías y procedimientos propuestos se encuentran en fase de desarrollo, lo que implica aceptar que es un tema en construcción y de aprendizaje permanente (Arboleda, 2008). “No se trata de un proceso brasileño, japonés o americano, sino de un proceso universal” (International Association for Impact Assessment, 1996) y que responde más a la lógica académica, las necesidades del proyecto y territorio específicos y las políticas regulatorias. Sin embargo, y como se verá más adelante, se mostrará la forma de aprehensión de dichas metodologías de evaluación adoptadas por zonas geográficas, con el fin de entender los diferentes contextos y pre-visualizar la tendencia en las directrices evaluativas. “Algunas de las metodologías más usadas son los listados de verificación, la matriz de interacciones, las redes de causa-efecto, sistemas de información geográfica, sistemas expertos, modelaciones, entre otras” (Adriana et al., 2012).

### 3.2.1 Generalidades: Metodología Matricial

Los métodos matriciales para el proceso de evaluación ambiental son ampliamente utilizados y conocidos en la literatura, por su practicidad para ingresar a matrices de doble entrada, la información del proyecto y el ambiente procesada en los elementos anteriores de la EIA (ASPI y FARI) con el fin de buscar las posibles interacciones entre estos dos elementos; entre las ventajas de este método, encontramos que “permiten comparar eventos aparentemente no comparables, se tiene una visión integrada de los impactos involucrados, y se pueden utilizar en diferentes fases de la evaluación; sin embargo este método no permite analizar la temporalidad de los impactos” (Arboleda, 2008).

Para la evaluación ambiental por método matricial, se busca el conocimiento sobre el estado actual del ambiente, lo que llamamos anteriormente como línea base, y toma en consideración algunas premisas para el proceso de evaluación ambiental con método matricial: 1). *Establecimiento de la línea base*; 2). *Predicción de escenarios futuros sin Proyecto*; 3). *Predicción de escenarios futuros con Proyecto*. Posterior a estos puntos preliminares, se procede a la elaboración de la matriz de interacciones se conforma colocando en uno de los ejes las actividades del proyecto en orden de ejecución y en el otro eje los factores ambientales.

Cuando una acción provoca un cambio en algún factor, este se anota en la casilla de intersección. Posteriormente es necesario describir cada una de las interacciones que se han marcado (De acuerdo a ASPI, FARI Impactos Directos e Impactos Indirectos, como lo plantea (Arboleda, 2008)). El siguiente nivel en el análisis por matrices es asignar un valor numérico que refiera algunos atributos a la interacción, es necesario indicar desde el inicio cuáles serán los atributos que se utilizaran y cuál es el rango de valores asignados, por ejemplo se puede referir a la magnitud del cambio y tener una escala del 0 al 9, en donde el nueve representa el máximo impacto y el cero la nulidad.

La calificación numérica que se le da a estos impactos, depende en gran medida de la subjetividad del grupo interdisciplinar de profesionales y áreas involucradas en el proceso (Adriana et al., 2012). Este es un método adaptado de la popular metodología matricial de Leopold . La importancia del uso de matrices radica en que ha representado un instrumento de valioso alcance para identificar los impactos y es una ayuda visual de la distribución de los impactos por actividad y factor ambiental.

Adicionalmente, es importante utilizar los signos “+” y “-“ (actividad con impacto positivo o con impacto negativo), pues así se muestra de manera muy gráfica y más comprensible, las actividades que impactan (Adriana et al., 2012).

- **Análisis y características de los impactos**

En el método matricial, se evalúan ciertos aspectos que caracterizan a profundidad la clase de impacto que es inherente a la construcción u operación de un proyecto. Entre todas las características que pueden analizarse a un mismo impacto, las más importantes se han concentrado en 10 que se explican en detalle en la Figura 3.2-1.

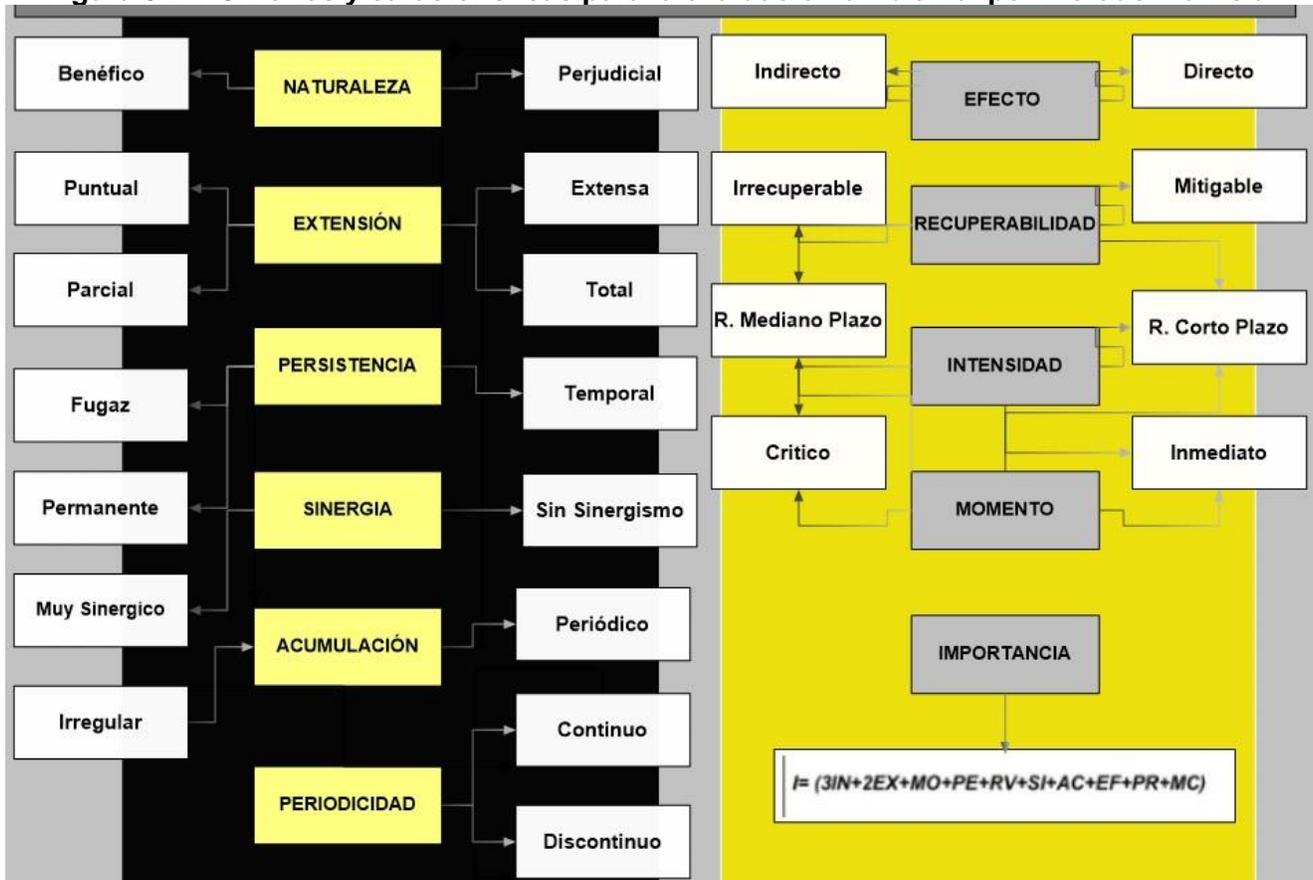
De igual manera, para el análisis de impactos se tienen en cuenta estos criterios, que representan especial importancia para este estudio, a saber, los de **acumulación y sinergia**, que explicaremos en detalle en una sesión siguiente. Sin embargo, es primordial mencionar que, dada la calificación de los criterios, según se muestra en dichas tablas es como realmente se efectúa la zonificación ambiental de los impactos y se entran a formular las acciones encaminadas a la mitigación, compensación y conservación de los recursos afectados. Estos se consignan posteriormente en los que se conocen como “Plan de Manejo Ambiental” y “Plan de Mitigación”.

Según explica Arboleda (2008) de acuerdo con los valores asignados a cada criterio, la importancia del impacto puede variar entre 13 y 100 puntos, que establece la siguiente significancia: Inferiores a 25 son irrelevantes o compatibles con el ambiente; entre 25 y 50 son impactos moderados; entre 50 y 75 son severos y superiores a 75 son críticos. Como puede observarse, la **Acumulación** se maneja solamente con las descripciones de “simple” o “acumulativo” y la *Sinergia* con “Sin Sinergia” “Sinérgico” o “Muy Sinérgico”; sin embargo, es menester en cada evaluación ambiental, especificar unos criterios adicionales que categoricen estas calificaciones con el fin de aproximar a la realidad lo mayor posible la evaluación en términos de proyectos.

### 3.2.2 Hallazgos en la literatura: Método Matricial

En el estudio sobre “Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano” (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015). Aquí se muestra de manera sintética, los resultados de la evaluación ambiental de proyectos de energía solar fotovoltaica, la cual fue realizada con la metodología de la línea base, la identificación y evaluación de impactos mediante el método simplificado de Conesa discutido en (Conesa, 1993).

**Figura 3.2-1 Criterios y características para la evaluación ambiental por método matricial**



Fuente: Elaboración propia a partir de (Conesa, 1993) y (Arboleda, 2008)

Dentro de los resultados obtenidos se destaca de los impactos no son significativos en las etapas de construcción y desmonte de un sistema solar fotovoltaico, debido a que la fabricación de la cimentación, remoción de suelo y transporte de materiales de construcción y maquinaria no es permanente sino temporal, mientras que en operación los impactos son prácticamente nulos y se reducen a los asociados a las tareas de mantenimiento (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015). El ciclo de vida de una instalación de energía fotovoltaica se limita a la fabricación, instalación y operación de la propia instalación. Los componentes del sistema dependen del tipo de aplicación (autónoma o conectada a la red) y de las características de la instalación.

“Los sistemas autónomos incluyen los paneles fotovoltaicos, los acumuladores, el regulador de carga y el inversor, mientras que los sistemas conectados a red no tienen acumuladores ni reguladores de carga, ya que la electricidad producida se vierte a la red. El componente principal de la instalación son los paneles fotovoltaicos, cuya fabricación representa los principales impactos a los largo del ciclo de vida de la instalación.

La producción de 1 kWh de energía fotovoltaica tiene asociadas unas emisiones de 81,2 g CO<sub>2</sub> equivalentes, así como el consumo de 9,35 litros de agua, aproximadamente 95 % de los cuales se asocian al proceso de fabricación de las celdas de silicio” (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015).

A pesar de esto, el silicio es el segundo elemento mayoritario en la Tierra y no es tóxico, con lo cual el impacto de su procesamiento está asociado al consumo de energía y materias primas. Es importante resaltar que “El proceso de conversión de energía solar en electricidad está prácticamente libre de emisiones y generación de ruidos, ya que las únicas partes móviles son los dispositivos de seguimiento solar, si los hubiera, los cuales se desplazan muy lentamente.

Los principales impactos reportados durante la operación son los impactos visuales de afectación al paisaje” (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015), por lo que su análisis se reduce al ciclo de vida de producto y un componente a nivel proyecto. El factor socioeconómico, generalmente presenta numerosos impactos positivos debidos a la generación de empleo, la disponibilidad de energía en zonas no-interconectadas, la generación de nuevo conocimiento, entre otros.

Otro impacto significativo es el debido al consumo de agua, pues la región caribe es una zona especialmente sensible en ese aspecto, particularmente en la Guajira. Con respecto a los recursos naturales, el factor hídrico es el de mayor preocupación, sin embargo, “el principal consumo de agua se da en el proceso de fabricación de los paneles fotovoltaicos, los cuales no se fabrican en la región de estudio y por lo tanto deben traerse desde Europa o Estados Unidos. Por este motivo, el consumo de agua de esta actividad no tendrá un impacto significativo en el área de influencia directa del proyecto” (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015).

### **3.2.3 Generalidades: Metodología ACV**

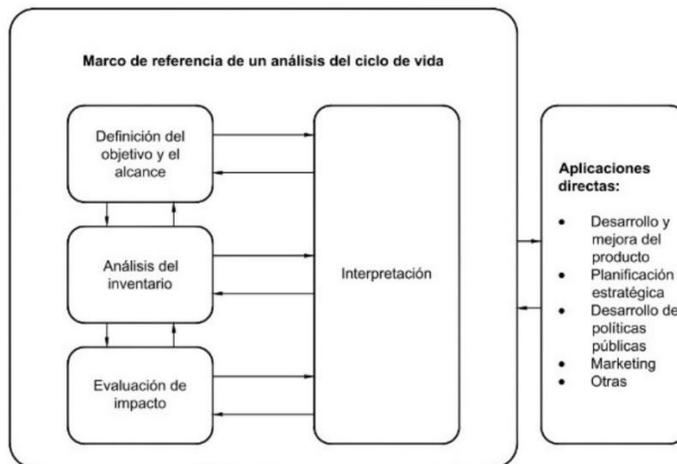
El ACV (o por sus siglas en inglés- LCA-Life Cycle Assessment) es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: consiste en una evaluación de materiales y energía requerida para la producción de una unidad de producto, discriminado por fases, hasta completar un ciclo, llamado comúnmente “de la cuna a la tumba”; ésta evalúa los impactos ambientales potenciales asociados a las entradas y salidas, contenidas en unas bases de datos mundiales, e “interpreta los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” (ISO, 2007).

El Análisis de Ciclo de Vida tiene una ramificación llamada ACV conceptual que es “un análisis más sencillo que se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación

de los potenciales impactos que son más significativos y los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales” (PREAD, 2010). Sin embargo, el Análisis de Ciclo de Vida (LCA) es una metodología internacionalmente aceptada para la evaluación de cargas e impactos ambientales asociados a la elaboración de un producto o proceso, teniendo en cuenta todas las etapas de la vida del mismo (Del Río et al., 2010).

Para el tipo de Proyecto de generación mediante energía solar fotovoltaica, con el fin de considerar todos los posibles impactos, se debe abordar el análisis bajo las 3 fases principales de su ejecución: construcción, operación y desmantelamiento (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015). Una de las ventajas marcadas de este tipo de técnica evaluativa, radica en que como el análisis se realiza mediante las etapas del producto o servicio, es fácil identificar en qué estadio se genera el mayor impacto, en términos de recursos y cargas ambientales. En la Figura 3.2-2 se puede apreciar de manera general y resumida las etapas de elaboración de un ACV. Dentro del (LCA) se conocen también unas sub-metodologías para la aplicación, a saber, Eco-Indicador 99 y EPS-2000. Ésta se basa en métodos de valoración de economía ambiental, cuantificando el daño en la asignación monetaria ELU , y tiene sólo cuatro categorías de daño o áreas de protección que son: Salud humana, capacidad de regeneración del ecosistema, stock de recursos y biodiversidad, valores culturales y recreativos. Sin embargo, Eco-Indicador 99 tiene una quinta fase que EPS-2000 no tiene, que es la normalización, la cual consiste en demostrar a través de unas gráficas obtenidas con los flujos de materia que entra y sale en el proceso de fabricación, hasta qué grado la categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global (Del Río et al., 2010). Todas estas aproximaciones se trabajan usando software especializado como Sima-Pro ó Umberto LCA.

**Figura 3.2-2 Esquema metodológico de un proceso de análisis de ciclo de vida**



Fuente: (ISO, 2007)

### 3.2.4 Hallazgos en literatura: Análisis de Ciclo de Vida

Con respecto a los materiales minerales involucrados en el AVC en la etapa de fabricación de paneles, se encontró una caracterización por tipo de celda fotovoltaica, “con el fin de determinar los impactos ambientales en la fabricación de aparatos fotovoltaicos, se realizó un estudio en Suiza, Europa y los países de la OCDE” (Jungbluth et al., 2010). En la Tabla 3.2-1 se muestran los productos químicos y pre-productos utilizados para la fabricación de celdas y láminas fotovoltaicas, estimadas mediante la metodología de Análisis de ciclo de vida, usando el software SimaPro (Hischier et al., 2010). En este estudio, se muestra para la mayoría de los impactos que alteran el medio ambiente, que las cantidades establecidas de uso y/o daño del recurso, corresponden a aproximaciones de otros estudio o de los cálculos aproximados (no contextualizados) que vienen por defecto en las bases de datos del software (EcoInvent Data V2.2), ya que no se dispone de información factible disponible requerida para la producción de la unidad de estudio.

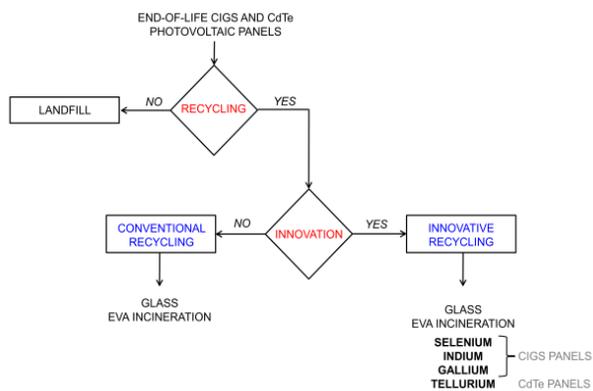
**Tabla 3.2-1 Impactos ambientales identificados en la fabricación de Celdas fotovoltaicas**

IMPACTO	polyvinylfluoride films and pre-	Polyvinylalcohol, at plant	Polyvinylbutyralfoil	Silicon Tetrahydride	Nitrogen trifluoride (NF3)
Demanda de Energía	3,2 MJ / kg **	3,2 MJ / kg **	3,2 MJ / kg **	**	43 kWh / kg.
Demanda de Agua	24 kg Agua por kg de producto **	24 kg Agua por kg de producto **	24 kg Agua por kg de producto **	**	24 kg Agua por kg de producto **
Transporte	100 km -camión y 600 km - tren **	100 km -camión y 600 km - tren **	100 km -camión y 600 km - tren **	**	100 km -camión y 600 km - tren **
Infraestructura y uso del suelo	4,00 E-10 unidades por kg de sustancia química producida	4,00 E-10 unidades por kg de sustancia química producida	4,00 E-10 unidades por kg de sustancia química producida	**	4,00 E-10 unidades por kg de sustancia química producida
Emisiones al Aire	1,8 g CF4**	Como alcohol polivinílico se produce en metanol no hay emisiones a la atmósfera. 42% de	butanal al 0,2%.	Calor	1.2% de NF3 ** Flúor y Amoníaco de 0,2%**
Contaminación de Agua	1,1 g de etileno **	0.001 g de metanol 1,97 g acetato de vinilo 0,01 g de acetato de metilo	2,8 g de PVA 1,9 g butanal	**	Potasio**
Residuos Sólidos	**	**	**	**	**
Calidad de Datos	Calidad de los datos es bastante pobre como una gran cantidad de suposiciones y no se disponía de los datos de producción "reales".				
** No había información disponible. Se usan datos aproximados y procesos existentes en EcoInvent.					

Fuente: Elaboración propia a partir de (Jungbluth et al., 2010)

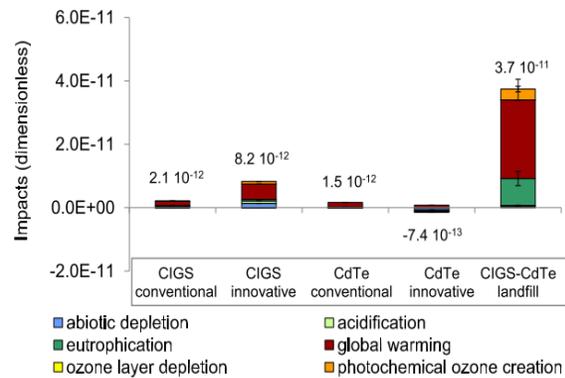
En otro estudio realizado, se trata el tema del reciclado inteligente de Paneles fotovoltaicos, mediante la metodología de análisis de ciclo de vida. En (Rocchetti & Beolchini, 2015) se muestra que para la fabricación de cobre indio galio (CIGS) y telurio de cadmio (CdTe), se comparó cuantitativamente los impactos ambientales y los puntos débiles de los procesos de reciclaje de este tipo de paneles, y su eliminación en un vertedero. El proceso que se llevó a cabo para determinar tal comparación se muestra esquemáticamente en la Figura 3.2-3. Posteriormente en la Figura 3.2-4 se muestran los resultados de estos estudios, que arrojan las cantidades en que se presentan los impactos ambientales. “El reciclado innovador de los paneles de (CdTe) crea una producción neta de créditos ambientales gracias a la recuperación de materiales valiosos. El reciclado innovador de paneles CIGS tiene un impacto mayor que el reciclado de los paneles de CdTe (por ejemplo 2,5 vs 0,7 kg CO2-eq., Respectivamente, para el potencial de calentamiento global). En cualquier caso, la disposición de los paneles al final de su vida no es ventajoso para el medio ambiente de acuerdo con la evaluación del ciclo de vida” (Rocchetti & Beolchini, 2015). En general, los resultados de este estudio proporcionan una referencia para el reciclado de paneles fotovoltaicos y la recuperación de materias primas secundarias como telurio, indio, galio y selenio.

**Figura 3.2-3 Proceso de reciclado inteligente de paneles**



Fuente: (Rocchetti & Beolchini, 2015)

**Figura 3.2-4 Resultados de impactos en el reciclaje de Celdas fotovoltaicas**



### 3.3 Avances y limitaciones

Reiterando lo mencionado anteriormente, la instalación y uso de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), tales como la energía eólica y la fotovoltaica, al igual que todo proyecto que se ejecute en una región, tienen asociados unos impactos ambientales, sociales y económicos que se deben evaluar con el fin de tomar decisiones tales como el lugar de ubicación del proyecto, el tamaño de la instalación, etc (Pasqualino, Cabrera, & Vanegas Chamorro, 2015). Por ello, se analizarán cuáles son esas implicaciones ambientales de peso que presentan las evaluaciones ambientales de tecnologías

limpias como la fotovoltaica. Hasta el momento se ha hablado de metodologías de evaluación ambiental para proyectos en general. En las secciones anteriores, se detallaron los resultados encontrados para el análisis de impactos ambientales en general, en esta sección se resumirán los más recientes avances metodológicos para la evaluación ambiental de impactos acumulativos, de la cual se encontraron dos métodos complementarios, luego para impactos sinérgicos y por último, resultados sobre Impactos en proyectos Fotovoltaicos mediante *Métodos Mixtos*.

### 3.3.1 Metodología para la evaluación de impactos acumulativos

La extensión o límites geográficos y temporales que se establecen para evaluar los impactos acumulativos de un proyecto varían, y deben sumar impactos asociados a otros proyectos pasados, presentes y futuros sobre el estado del VEC “durante un período de tiempo lo suficientemente amplio para abarcar el período en el que se producirán los impactos del proyecto” (IFC., 2013). Según la metodología Páez-Zamora, el primer paso para efectuar un Análisis de Impactos Ambiental Acumulativos desde la perspectiva de proyecto, es el “adoptar como VECs para el nuevo análisis a todos aquellos componentes ambientales utilizados en un Estudio de Impacto Ambiental previo” (Páez, 2013a). En la Figura 3.3-1, se puede apreciar la secuencia, de cómo los componentes ambientales estudiados en un EIA pasan a ocupar nuestra matriz de Impactos acumulativos, a partir de una Matriz de Interacciones para identificar los VECs- Partiendo siempre del EIA del Proyecto Base, un primer paso partir de sus áreas de influencia directa e indirecta, tal como el proceso de análisis ambiental así lo planteó.

Finalmente, el proceso concluye depurado el listado de proyectos pasados, presentes y futuros con potencialidad de contribuir a la acumulación de impactos en los VECs seleccionados, se procede a planear los planes y programas de manejo y mitigación. Sin embargo, el mismo autor de la metodología Páez-Zamora (Páez, 2013a), señala que existen otras metodologías, como sigue, para el análisis de los impactos ambientales acumulativos; Este método identifica la capacidad asimilativa de cada VEC bajo análisis y la coteja con los umbrales máximos o mínimos legales, de forma de asegurar que las modificaciones inducidas en el ambiente por el cúmulo de proyectos pasados, presentes y futuros estén dentro de los límites permitidos. Esta metodología, que proporciona mecanismos para controlar el uso incremental de capacidad no utilizada, es la que mayormente se utilizan las autoridades ambientales encargadas del control de la contaminación.

Como sigue a continuación, el Banco Interamericano de Desarrollo BID, tiene una metodología avalada que sirve como directriz en la implementación de análisis de acumulación y *sinergia (termino hasta el momento sin guía metodológica)*, que simplifica el procedimiento de evaluación ambiental en [6] pasos

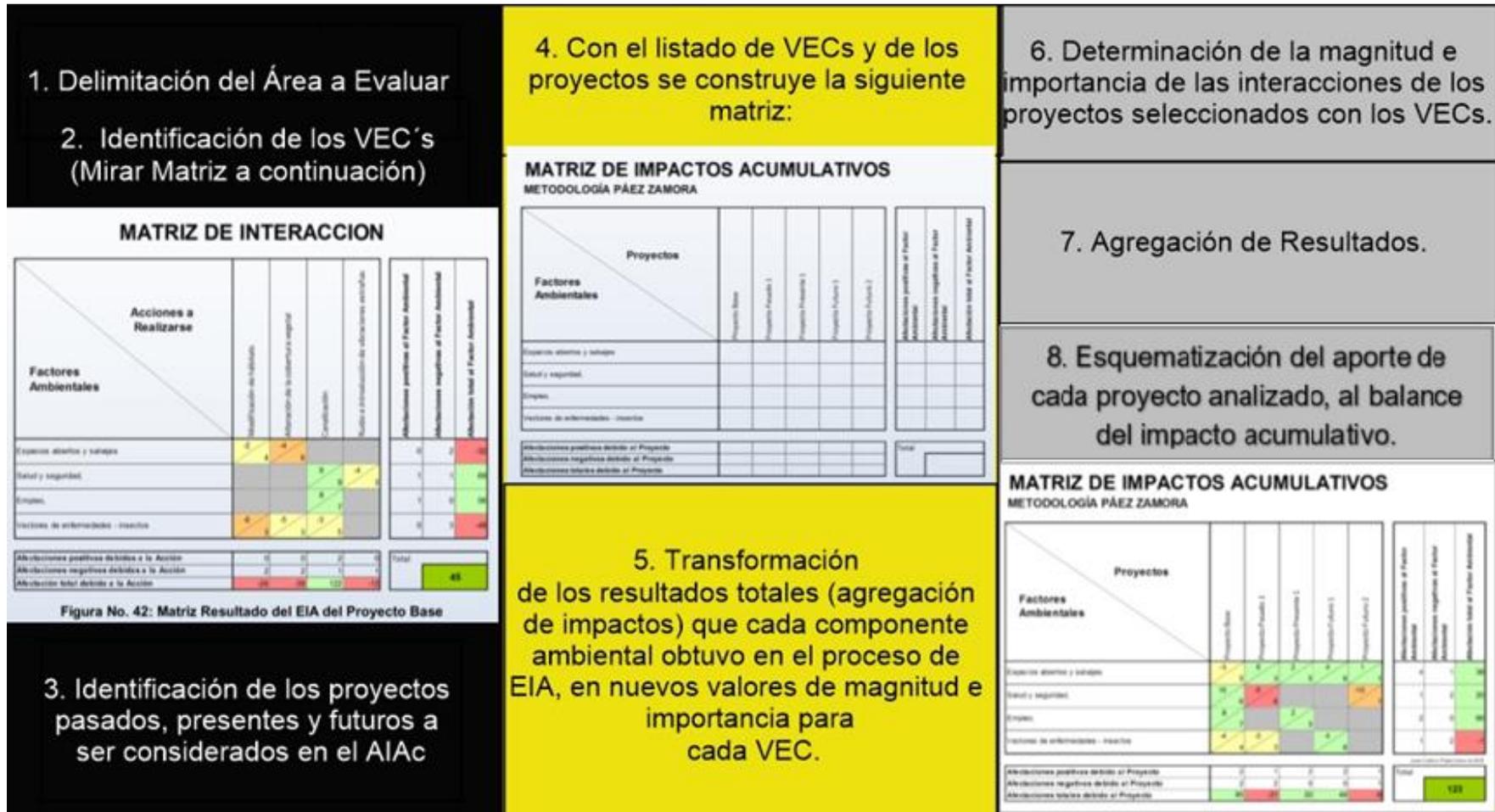
sencuenciales . Para comentar , se requiere la determinación de límites espacio-temporales y el alcance del proyecto, para luego proceder a identificar los VECS en las actividades del proyecto y su afectación a comunidades. Es interesante observar que este proceso es cíclico e iterativo, lo cual permite bajar los índices de error en la pérdida de información valiosa que queda sesgada en los procesos convencionales.

La segunda mitad del proceso consiste en la evaluación de la acumulación de dichos impactos identificados y su valoración en términos de los VECS. Una vez finalizado el proceso, salen como resultado, los diseños de estrategias, planes, programas de monitoreo, mitigación y compensación de los impactos evaluados. A continuación, en la Figura 3.3-2 (B) se puede apreciar la metodología IFC para Análisis de Impactos acumulativos (y aplicable a sinérgicos) para proyectos de desarrollo. Según (Cumulative Effects Assessment Working Group et al., 1999) sea cual fuere la metodología utilizada en un proceso de Análisis de Impactos Acumulativos, ésta debe cumplir los siguientes tres requisitos mínimos:

- I. Para lograr una buena acumulación temporal de efectos, debe considerar una escala de tiempo y frecuencias de observación acordes a la recurrencia de las principales perturbaciones y a la dinámica de la eventual recuperación. Por ejemplo, para el caso de bosques lo recomendable es considerar el tiempo involucrado en la sucesión secundaria, que usualmente se mide en décadas.
- II. Debe tomar en cuenta la escala geográfica de la perturbación para fijar los límites físicos del estudio. Así mismo, debe tomar en cuenta los flujos a través de esos límites.
- III. Debe considerar explícitamente el vínculo entre acciones, VECs e impactos para permitir la identificación de efectos.

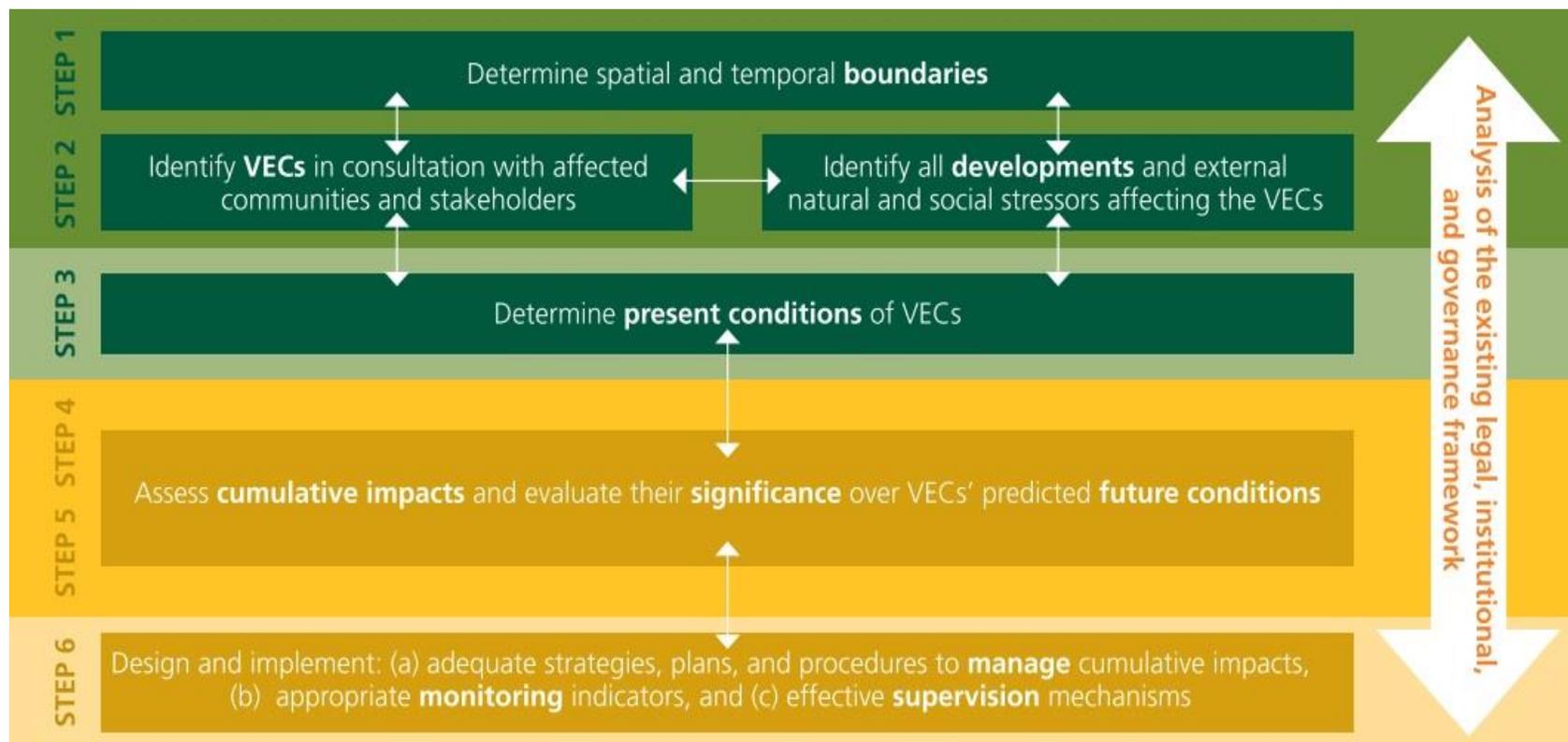
Ésta metodología se utiliza por lo general para evaluar el estado de VECs en el tiempo y desarrollar proyecciones basadas en eventos pasados para determinar, con un grado de confianza preestablecido, las condiciones futuras de dicho VEC. También sirven para determinar los cambios en la incidencia o intensidad de algunos factores con el tiempo. Nótese que la gran diferencia respecto a cómo se procedía al aplicar la metodología de Leopold, es que la de Páez-Zamora no presenta listados preliminares de dónde puedan escogerse los VECs a considerarse ni de proyectos ser incluidos en el análisis (Páez, 2013b)

Figura 3.3-1 Esquema metodológico para evaluación de impactos acumulativos



Fuente: Elaboración propia a partir de (Páez, 2013b)

Figura 3.3-2 Esquema metodológico para evaluación de impactos acumulativos



Fuente: (IFC., 2013)

### 3.3.2 Metodología para la evaluación de impactos sinérgicos

Existen clasificaciones para proyectos en todo el mundo que requieren, de acuerdo con la reglamentación local, una evaluación integral, estratégica y exhaustiva de los impactos ambientales, incluyendo los impactos sinérgicos. Todas las metodologías nacionales de evaluación de impacto ambiental tienen limitaciones importantes al evaluar la sinergia. La sinergia si bien es resagada para análisis demasiado específicos, en algunos casos ni siquiera es considerada, por lo tanto, “para que exista un método de análisis y evaluación de sinergia de impacto ambiental adecuado, debe primero existir una explicación teórica del fenómeno que cumpla con ciertos componentes básicos para entender la sinergia” (Melgar, 2016). A este problema, se suma por otro lado que las herramientas convencionales de evaluación ambiental tienen limitaciones para evaluar las características y propiedades atribuidas a la sinergia de impactos ambientales, cómo aspectos de organización espacial y temporal, interacciones con el ecosistema y el paisaje, etc. pudiendo resultar en evaluaciones generales, superficiales o incompletas. Dentro de la actual revisión bibliográfica, no se encontró mediante las estrategias de búsqueda establecida, estudios que mostraran la identificación y evaluación de impactos ambientales sinérgicos en proyectos fotovoltaicos.

### 3.3.3 Resultados sobre Impactos en Proyectos Fotovoltaicos mediante Métodos Mixtos

En la Figura 3.4-1 puede apreciarse como discriminado por las etapas de un proyecto (Construcción, operación y cierre) se evalúan los efectos ocasionados al medio ambiente y cómo es la respuesta del mismo ante la afectación. Las principales variables ambientales encontradas en este estudio, dan cuenta de impactos pertenecientes al medio abiótico como la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente CO<sub>2</sub>. Debido a la naturaleza de la generación de energía mediante paneles fotovoltaicos, se da un incremento en los niveles de albedo a la atmósfera. Continuando en este mismo componente, se habla también de cambios en la temperatura superficial a nivel de la corteza terrestre y de la atmósfera circundante. Esto da como resultado una posible afectación con respecto al cambio en el microclima y la hidrología local tanto para el aumento en la precipitación como en el cambio de los regímenes de cuerpos de agua que se encuentren presentes en el área de influencia directa de un proyecto. Otro de los impactos que se analizan en este estudio hacen referencia a la electro

magnetización de las propiedades físico-químicas del suelo; sin embargo, la descripción investigativa de este impacto aún necesita profundidad y estudio en otras condiciones para realmente validar su existencia. Los otros impactos que se presentan están relacionados con el terreno donde se desarrolla el proyecto, siendo estos, la erosión del suelo, por la falta de luz e irrigación directa y el riesgo inminente de incendio de las estructuras.

El cambio en el uso del suelo y la modificación de las coberturas vegetales, tiene un impacto significativo en el índice de sensibilidad del paisaje y esto a su vez, repercute en las poblaciones de flora y fauna asociadas a la cobertura vegetal donde se localice el proyecto. En el componente biótico, el impacto más significativo hace entonces alusión a la fragmentación de ecosistemas. La magnitud de este impacto dependerá de la extensión geográfica del proyecto y las comunidades de especies que se vean involucradas. Finalmente, se evidencia que el medio ambiente presenta una respuesta ecológica importante en cuanto a la alteración de los ciclos biogeoquímicos. A pequeña escala dentro de la zona de influencia directa de los proyectos, aunque ésta sea considerada de alta recuperabilidad una vez se cierra el proyecto o se acaba su vida productiva.

### **3.4 Resultados Revisión de Literatura**

Se encontró suficiente material ilustrativo para generalidades sobre procesos de identificación y evaluación de impactos ambientales, tales como guías y descripciones metodológicas para proyectos en general y con una gama diversa de fuentes y locaciones geográficas. Se hallaron numerosos estudios sobre el contexto histórico y normativo de la evaluación ambiental y su relevancia en la planificación y ejecución de proyectos. De ésta información sobre identificación de impactos y evaluación ambiental, se pudo extraer con amplitud un compendio de definiciones que satisfacen los niveles más externos de la investigación. Conforme se avanzó la búsqueda sistemática con la información resultante, se encontró escaso material sobre metodologías específicas para la identificación y evaluación de impactos ambientales acumulativos para proyectos en general e insuficiente material (solo un estudio) sobre resultados de este tipo de impactos, para proyectos fotovoltaicos. Los resultados de impactos ambientales para proyectos fotovoltaicos, desviaron la investigación hacia la rama de las metodologías del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) mediante software y bases de datos mundiales y las de tipo matricial perdieron protagonismo, pues no se encontraron resultados con este tipo de metodologías para proyectos fotovoltaicos.

Se encontraron estudios aislados de información clave en términos de impactos ambientales de proyectos fotovoltaicos, pero ninguno corresponde explícitamente a impactos de tipo acumulativo o

sinérgico bajo el (LCA). Se encontró un déficit marcado en la definición de metodologías estandarizadas para la identificación de impactos ambientales sinérgicos y nula información que diera cuenta de resultados de evaluación de impactos sinérgicos en proyectos fotovoltaicos.

Los hallazgos de esta revisión de literatura, demuestran un alto grado de información dedicada a la definición de la problemática ambiental y los posibles focos de metodológicos de aprehensión de la misma; sin embargo, se carecen de resultados específicos y definidos que permitan comparaciones y análisis en la toma de decisiones.

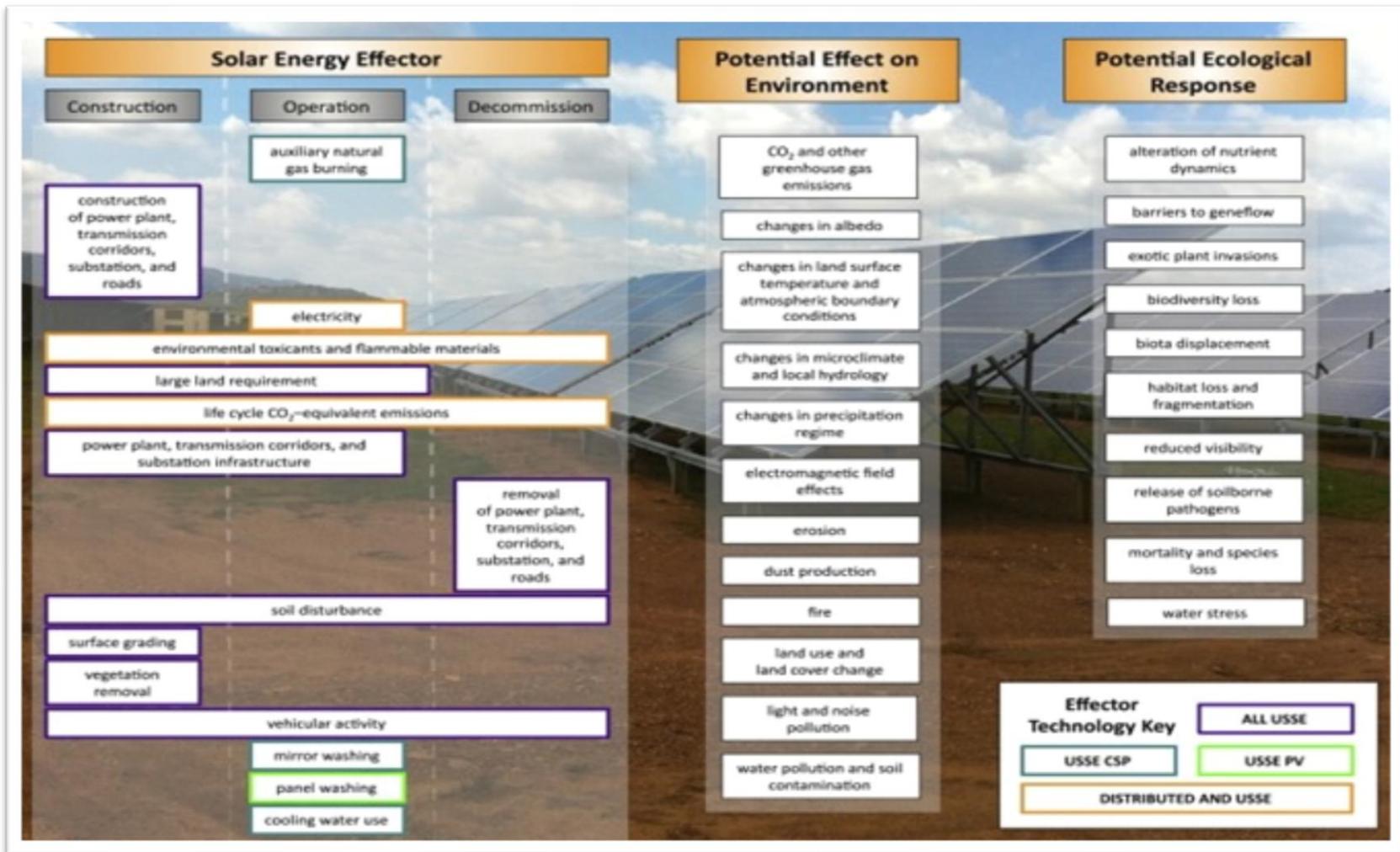
La metodología para afrontar un estudio de impactos acumulativos y sinérgicos, o en general de tipo ambiental, sin duda no requiere ser la misma o siquiera estar homologada a nivel mundial, pues los contextos Socioambientales varían de acuerdo a la región y sus políticas preestablecidas y ciertamente para llevar a cabo este tipo de análisis, es válida más de una visión y aproximación metodológica.

Este es uno de las primeras falencias que se encontraron en la revisión de literatura, pues para el caso de evaluación ambiental, en su interpretación más global, hay información en exceso; sin embargo, cuando se centra el detalle en evaluación ambiental referente a acumulación y sinergia, se evidencia la falencia en desarrollo académico, siendo la sinergia, la que menos avance investigativo presenta.

Dicho esto, es entendible entonces que, si no se tienen establecidas unas directrices y lineamientos claros para la identificación y evaluación ambiental de impactos acumulativos y sinérgicos, es causal de la falta de estudios con resultados concretos que permitan establecer una línea base en el conocimiento de la implicación ambiental en materia de energías renovables. Con respecto a los hallazgos de esta revisión se evidenció que a nivel mundial se está abarcando el tema de impactos ambientales con demasía bajo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, propuesta por la *International Standardization Organization (ISO)* con la norma 14:040 referente a (LCA), que, si bien alude a una herramienta de gran valor en los procesos de evaluación ambiental, también se queda corta y descontextualizada a la hora de realizar evaluaciones con datos puntuales.

Si bien es cierto que la complejidad de los sistemas Energético-ambiental tiende a la necesidad de simplificación, el ACV se caracteriza por simplificar a tal grado, que pone en tela de juicio la veracidad de los datos utilizados y tergiversa la posibilidad de sacar conclusiones aplicables para la toma de decisiones. Esto se fundamenta principalmente, en que los (LCA) se alimentan, como se mencionó anteriormente, en unas bases de datos, con datos genéricos y que no corresponden necesariamente a las cifras de la región en donde se está realizando el estudio.

Figura 3.4-1 Impactos ambientales identificados en proyectos fotovoltaicos



Fuente: (Hernandez et al., 2014)

Dada la variabilidad del sistema ambiental, tanto espacial como temporal en todos los niveles geográficos, es que tomar datos genéricos de las bases de datos, para modelar una región bajo una situación específica, le resta con demasía la precisión y por ende confiabilidad a los resultados que puedan arrojar los (LCA). Por lo anterior, el Análisis de Ciclo de Vida no puede ser la única herramienta de decisión y más bien, como proponen la mayoría de los autores, estas aproximaciones a la acumulación y a la sinergia de impactos ambientales, debe hacerse mediante una combinación de varias metodologías que garanticen una adecuada cobertura y fiabilidad en los datos utilizados.

Partiendo del hecho de que el (LCA) no considera los asuntos económicos o sociales de un producto, es importante diferenciar y acertar para que tipo de proyectos es aplicable el enfoque del ciclo de vida y las metodologías descritas en esta Norma Internacional. En resumen, con respecto a los hallazgos de la revisión de literatura, se identificó de forma preliminar, que, de realizarse estudios de acumulación y sinergia impactos ambientales, mediante el (LCA) debe hacerse un ajuste que permita incluir los aspectos e impactos socioeconómicos, que por lo general están fuera del alcance del software convencionalmente usado para estos fines.

De manera similar, el análisis de impactos ambientales acumulativos y sinérgicos en proyectos fotovoltaicos es fundamenta el nivel producto-micro (paneles y celdas fotovoltaicas) y proyecto-macro, pues sería una excelente herramienta de planificación y diseño de proyectos con una evaluación ambiental integral de bajo margen de impacto negativo. También se evidencia que, en la actualidad hay un gran vacío de investigación en el tema de evaluación de impactos ambientales, impactos acumulativos e impactos sinérgicos en relación al desarrollo de proyectos de generación solar fotovoltaica. Dadas estas consideraciones y premisas para el análisis, se plantea a continuación en la sección 3.5 los objetivos del presente trabajo y posteriormente en el numeral 3.6, se mostrará el esquema metodológico para la consecución de los objetivos específicos.

## **3.5 Objetivos**

### **3.5.1 Objetivo General**

Proponer unos lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos de proyectos fotovoltaicos a partir de elementos de las metodologías matricial y ACV.

### 3.5.2 Objetivos Específicos

- I. Realizar el análisis de ciclo de vida de la Planta Solar Fotovoltaica Choluteca I y II Honduras como análisis complementario y comparativo al método matricial utilizado en su Estudio de Impacto Ambiental.
- II. Comparar los impactos ambientales en ambas metodologías en el proyecto Planta Solar Fotovoltaica Choluteca I y II Honduras.
- III. Evidenciar los impactos ambientales faltantes a cada una de las metodologías consideradas.

### 3.6 Metodología

A continuación, se presenta la sección de metodología, en las cuales se puede apreciar el proceso a llevar a cabo para cumplir los objetivos propuestos. El diagrama metodológico se aprecia en la Figura 3.6-1 En esta se muestra que, para la consecución del objetivo principal, deben cumplirse secuencialmente los objetivos específicos; y a su vez, los objetivos específicos están contenidos unos en otros de la siguiente manera: se comienza con el objetivo específico 1, partiendo desde la metodología matricial hacia la metodología de análisis de ciclo de vida. Esto se hará, comenzando por la identificación de aspectos e impactos ambientales. Una vez identificados, se hará una equivalencia con respecto a aquellos aspectos que se pretenden evaluar mediante análisis de ciclo de vida. En este momento, comienza a ejecutarse el segundo objetivo específico, en el que una vez corrido el modelo mediante el Software Umberto, se logran mirar cuales fueron los impactos ambientales arrojados, y estos se comparan con la otra metodología, cumpliéndose a cabalidad el segundo objetivo específico. Seguidamente, comienza la ejecución del objetivo específico 3, que corresponde a evidenciar aquellos elementos ambientales faltantes en términos de impactos, a cada uno de los métodos usados. Hecho esto se cumple a cabalidad con el objetivo específico 3. Con los resultados de los objetivos específicos 2 y 3, se procede a concluir la pertinencia, eficiencia y valoración de los impactos acumulativos y sinérgicos en ambas metodologías, con el fin de concluir a cabalidad el objetivo específico 1. Una vez cumplidos los tres objetivos específicos, se proponen los lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos en proyectos fotovoltaicos, cumpliendo a cabalidad el objetivo general de este trabajo.

Dicho lo anterior, descrita en detalle, la metodología para consecución de los objetivos de este estudio, se presenta en el capítulo 4, los resultados de la metodología matricial, que corresponde a los análisis de ambos estudios de impacto ambiental.

Figura 3.6-1 Esquema Metodológico para la consecución de los objetivos



Fuente: Elaboración propia

## 4. Resultados Metodología Matricial

### 4.1 Estudio de Impacto Ambiental de la Planta Solar Fotovoltaica Choluteca I.

El método matricial utilizado en el estudio de impacto ambiental de la planta solar fotovoltaica Choluteca I (e incluso la etapa II), está fundamentado en un sistema de ponderaciones a unos indicadores ambientales preestablecidos, sobre los cuales se califica la sostenibilidad de un proyecto. Esto se realiza mediante la plataforma Envision™, la cual es un producto, a partir del Programa ZOFNASS de Infraestructura Sostenible de la Escuela de Graduados de Diseño de la Universidad de Harvard y el Instituto de Infraestructura Sostenible.”<sup>3</sup> El sistema Envision es un sistema de calificación para valorar la sostenibilidad, además de una guía orientativa que introduce consideraciones de sostenibilidad en los proyectos infraestructurales. El sistema Envision reconoce la grave necesidad que hay de incorporar cuestiones relativas a la sostenibilidad en la infraestructura, por lo cual el sistema valora, califica y da mérito a aquellos proyectos infraestructurales que progresan de manera ejemplar y contribuyen a un futuro más sostenible (ISI., 2015b). Parte de esta iniciativa, se gesta desde el Banco interamericano de Desarrollo, llamado Infraestructura Sostenible 360°, que busca la implementación de prácticas de sostenibilidad reales con énfasis en clima y medio ambiente, así como temas en impacto social, gobernabilidad e innovación.

Las variables y métodos efectuados en el estudio de impacto ambiental de Choluteca, se describirán mediante el sistema de evaluación por ponderación de Envision. Este sistema, es un conjunto de herramientas que abarca todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto: planificación, diseño, construcción, operaciones y cierre (ISI., 2015b). Las calificaciones se otorgan a 60 criterios de sostenibilidad, clasificados en 5 categorías principales se muestran en la siguiente Tabla 4.1-1. Dicha calificación será otorgada en una escala de cumplimiento, siendo el de “Restauración” el nivel más óptimo encontrado. Para los indicadores, que resultan ser los impactos valorados, se presentan en detalle en (ISI., 2015a).

**Tabla 4.1-1 Categorías y subcategorías del análisis matricial sistema Envision**

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
Calidad de vida	Propósito, Comunidad, Bienestar
Liderazgo	Colaboración, Administración, Planificación
Distribución de recursos	Materiales, Energía, Agua
Mundo natural	Emplazamiento, Suelo y agua, Biodiversidad
Clima y riesgo	Emisiones, Resiliencia

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

<sup>3</sup> <http://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/envision/>

En la Tabla 4.1-1 pudo apreciarse que lo que en el estudio de impacto ambiental figura como una categoría, hace relación al componente que deseará analizarse, a su vez la subcategoría, hace referencia al aspecto ambiental al considerarse y como se verá en las matrices del estudio, los indicadores hacen alusión a los impactos generados.

Sin embargo, es necesario aclarar, que como los impactos están escritos como indicadores, su formulación debe obedecer a la forma infinitiva como una actividad que se está realizando producto de una intervención; dicha premisa nos confirma la equivalencia a un impacto ambiental, anteriormente definido en el Capítulo 2 como un cambio producido después de afectar el sistema.

Como se puede apreciar en la siguiente Tabla 4.1-2, “los criterios de los niveles de cumplimiento varían de un crédito a otro, pero en general un nivel de cumplimiento “Mejora” se otorga por un desempeño que excede ligeramente los requisitos regulatorios. Niveles que corresponden a “Mejora adicional” y “Superior” indican una mejora adicional que ocurre gradualmente, mientras que “Conserva” con frecuencia indica un cumplimiento que logra un impacto neto nulo o neutro. “Restaura”, el nivel más alto, se reserva típicamente para los proyectos que producen un impacto neto positivo” (ISI., 2015b); sin embargo, no hay ninguna categoría descrita que exprese un nivel de cumplimiento insuficiente o deficiente en caso de presentarse una situación anómala o contraria al desarrollo óptimo del proyecto.

**Tabla 4.1-2 Nivel de cumplimiento de los indicadores**

NIVEL	DESCRIPCIÓN
Mejora	Un desempeño que va más allá de lo convencional. Excede muy poco los requisitos normativos.
Aumenta	Un desempeño sostenible que va por el buen camino. Hay indicios de que el desempeño superior no está muy lejos.
Superior	Un desempeño sostenible que es notable, pero todavía está por debajo de ser sostenible. La puntuación está diseñada para incentivar el desempeño sostenible o restaurativo.
Conserva	Un desempeño que alcanzó, en esencia, un impacto negativo cero.
Restaura	Un desempeño que restaura los sistemas naturales o sociales

*Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)*

A continuación, se presentan las matrices donde se relacionan los aspectos e impactos ambientales considerados para la evaluación ambiental del proyecto solar. En estas matrices podrán apreciarse la distribución de la ponderación máxima a otorgarse por cada componente. Mas adelante en el numeral {6.2} del presente documento, se mostrarán los resultados obtenidos de dicha calificación matricial y su resumen gráfico por categoría de análisis.

**Figura 4.1-1 Ponderación, aspectos e impactos para el Componente de Calidad de vida**

			MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
CALIDAD DE VIDA	PROPÓSITO	QL1.1 Mejorar la calidad de vida de la comunidad	2	5	10	20	25
		QL1.2 Estimular el desarrollo y el crecimiento sostenible	1	2	5	13	16
		QL1.3 Desarrollar capacidades y habilidades locales	1	2	5	12	15
	COMUNIDAD	QL2.1 Mejorar la salud pública y la seguridad	2	—	—	16	
		QL2.2 Minimizar el ruido y las vibraciones	1	—	—	8	11
		QL2.3 Minimizar contaminación lumínica	1	2	4	8	11
		QL2.4 Mejorar el acceso y la movilidad de la comunidad	1	4	7	14	
		QL2.5 Fomentar modos alternativos de transporte	1	3	6	12	15
		QL2.6 Mejorar la accesibilidad, la seguridad y la señalización de las obras	—	3	6	12	15
	BIENESTAR	QL3.1 Preservar los recursos históricos y culturales	1	—	7	13	16
		QL3.2 Preservar las vistas y el carácter local	1	3	6	11	14
		QL3.3 Mejorar el espacio público	1	3	6	11	13
Maximum QL Points:						<b>181*</b>	

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

En este componente de calidad de vida, se evalúan principalmente las repercusiones del proyecto en las comunidades vecinas y en su bienestar. Específicamente, se distingue a los proyectos de infraestructura que se alinean con los objetivos de la comunidad, claramente establecidos como parte de las redes comunitarias existentes, así como los que consideran las aspiraciones de la comunidad y los beneficios a largo plazo (SunEdison-Hardvard et al., 2016). De los 181 puntos disponibles, el estudio arrojó para este componente, un total de 66 puntos, de los cuales, para el aspecto de propósito {26}, {15} para comunidad y {25} para bienestar.

**Figura 4.1-2 Ponderación, aspectos e impactos para el Componente de Liderazgo**

			MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA	
LIDERAZGO	COLABORACIÓN	LD1.1 Proporcionar compromiso y liderazgo efectivos	2	4	9	17		
		LD1.2 Establecer un sistema para manejar la sostenibilidad	1	4	7	14		
		LD1.3 Promover la colaboración y el trabajo en equipo	1	4	8	15		
		LD1.4 Fomentar la participación de las partes interesadas	1	5	9	14		
	GESTIÓN	LD2.1 Buscar oportunidades de sinergia en los subproductos	1	3	6	12	15	
		LD2.2 Mejorar la integración de las infraestructuras	1	3	7	13	16	
	PLANIFICACIÓN	LD3.1 Planificar la monitorización y el mantenimiento a largo plazo	1	3	—	10		
		LD3.2 Abordar reglamentos y políticas no compatibles	1	2	4	8		
		LD3.3 Extender la vida útil	1	3	6	12		
	Maximum LD Points:						<b>121*</b>	

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

En este componente de Liderazgo, se evalúan principalmente las iniciativas del equipo del proyecto que establezcan estrategias de comunicación y colaboración desde el inicio, con el objetivo final de lograr un rendimiento sostenible. Envision recompensa el compromiso de las partes interesadas y abarca una visión integral a largo plazo del ciclo de vida del proyecto. Liderazgo consiste de tres subcategorías: Colaboración, Gestión y Planificación (SunEdison-Hardvard et al., 2016). De los 121 puntos disponibles, el estudio arrojó para este componente, un total de 44 puntos, de los cuales, para el aspecto de Colaboración {26}, {7} para gestión y {11} para planificación.

**Figura 4.1-3 Ponderación, aspectos e impactos para el Componente de Asignación de Recursos**

			MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA	
ASIGNACIÓN DE RECURSOS	MATERIALES	RA1.1 Reducir la energía neta incorporada	2	6	12	18		
		RA1.2 Apoyar prácticas de adquisición sostenible	2	3	6	9		
		RA1.3 Utilizar materiales reciclados	2	5	11	14		
		RA1.4 Utilizar materiales de la región	3	6	9	10		
		RA1.5 Desviar los residuos de los vertederos	3	6	8	11		
		RA1.6 Reducir el traslado de los materiales excavados	2	4	5	6		
		RA1.7 Prever la deconstrucción y el reciclaje	1	4	8	12		
	ENERGÍA	RA2.1 Reducir el consumo de energía	3	7	12	18		
		RA2.2 Usar de energías renovables	4	6	13	16	20	
		RA2.3 Establecer y monitorizar los sistemas energéticos	—	3	—	11		
	AGUA	RA3.1 Proteger la disponibilidad de agua dulce	2	4	9	17	21	
		RA3.2 Reducir el consumo de agua notable	4	9	13	17	21	
		RA3.3 Monitorizar los sistemas de abastecimiento de agua	1	3	6	11		
	Maximum RA Points:						<b>182*</b>	

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

En el componente de Asignación de Recursos, se refiere evalúan los materiales, energía y agua requeridos durante las etapas de construcción y operación de los proyectos de infraestructura. La cantidad y fuentes de estos elementos, así como también su impacto general en la sostenibilidad. La identificación de recursos está dividida en tres subcategorías: Materiales, Energía y Agua (SunEdison-Hardvard et al., 2016). De los 182 puntos disponibles, el estudio arrojó para este componente, un total de 42 puntos, de los cuales, para el aspecto de Materiales {11}, {31} para Energía y {0} para agua.

**Figura 4.1-4 Ponderación, aspectos e impactos para el Componente de Mundo Natural**

			MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
MUNDO NATURAL	EMPLAZAMIENTO	NW1.1 Preservar los hábitats de alto valor ecológico	—	—	9	14	18
		NW1.2 Preservar los humedales y las aguas superficiales	1	4	9	14	18
		NW1.3 Preservar las zonas de alto valor de cultivo	—	—	6	12	15
		NW1.4 Evitar zonas de geología adversa	1	2	3	5	
		NW1.5 Preservar las funciones de la llanura aluvial	2	5	8	14	
		NW 1.6 Evitar la construcción inadecuada en pendientes pronunciadas	1	—	4	6	
		NW1.7 Preservar zonas verdes naturales	3	6	10	15	23
	SUELO & AGUA	NW2.1 Manejar las aguas pluviales	—	4	9	17	21
		NW2.2 Reducir el impacto de pesticidas y fertilizantes	1	2	5	9	
		NW 2.3 Prevenir la contaminación de las aguas superficiales y las subterráneas	1	4	9	14	18
	BIODIVERSIDAD	NW3.1 Preservar la biodiversidad de las especies	2	—	—	13	16
		NW3.2 Controlar las especies invasoras	—	—	5	9	11
		NW3.3 Restaurar los suelos alterados	—	—	—	8	10
		NW3.4 Mantener las funciones de los humedales y de las aguas superficiales	3	6	9	15	19
	Maximum NW Points:						<b>203*</b>

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

La categoría de Mundo Natural se enfoca en el efecto de los proyectos de infraestructura en los sistemas naturales y promueve oportunidades de interacción, los efectos sinérgicos positivos entre ellas. Envision apoya las estrategias de conservación y distingue a proyectos que tienen un enfoque en la mejora de los sistemas naturales de sus alrededores. Mundo Natural se divide en tres subcategorías: Emplazamiento, Tierra y Agua, y Biodiversidad (SunEdison-Hardvard et al., 2016). De los 203 puntos disponibles, el estudio arrojó para este componente, un total de 20 puntos, de los cuales, para el aspecto de emplazamiento {16}, {2} para Suelo/Agua y {2} para biodiversidad.

**Figura 4.1-5 Ponderación, aspectos e impactos para el Componente de Clima y Riesgo**

		MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA	
CLIMA Y RIESGO	EMISIONES	CR1.1 Reducir la emisión de gases de efecto invernadero	4	7	13	18	25
		CR1.2 Reducir la emisión de contaminantes atmosféricos	2	6	—	12	15
	RESILIENCIA	CR2.1 Evaluar las amenazas climáticas	—	—	—	15	—
		CR2.2 Evitar los riesgos y las vulnerabilidades	2	6	12	16	20
		CR 2.3 Preparar la adaptación a largo plazo	—	—	—	16	20
		CR2.4 Preparación para los riesgos a corto plazo	3	—	10	17	21
		CR2.5 Manejar los efectos de las islas de calor	1	2	4	6	—
	Maximum CR Points:						122*

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

Envision tiene como objetivo promover el desarrollo de infraestructura sensible a las perturbaciones climáticas a largo plazo. Clima y Riesgo se centra en evitar las contribuciones directas e indirectas a las emisiones de gases de efecto invernadero, así como también en acciones de mitigación y adaptación para garantizar la capacidad de resiliencia ante las amenazas a corto y a largo plazo. Clima y el Riesgo se divide en dos sub-categorías: Emisiones y Resiliencia (SunEdison-Hardvard et al., 2016). De los 122 puntos disponibles, el estudio arrojó para este componente, un total de 42 puntos, de los cuales, para el aspecto de Emisiones {25}, y {3} para resiliencia.

**Tabla 4.1-3 Calificación Máxima Otorgable para la Evaluación Ambiental del Sistema.**

Maximum TOTAL Points: **809\***

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

**Tabla 4.1-4 Calificación Máxima Otorgada para la Evaluación Ambiental del Sistema.**

Maximum TOTAL Points: **200**

Fuente: Adaptado de (ISI., 2015b)

## 4.2 Resultados matriciales

**Figura 4.2-1 Resultados de la Evaluación Ambiental Choluteca I y II para el componente de Calidad de Vida.**

		CHOLUTECA I & II	IMPROVED	ENHANCED	SUPERIOR	CONSERVING	RESTORATIVE
		CHOLUTECA I & II	MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
QUALITY OF LIFE CALIDAD DE VIDA	PURPOSE PROPÓSITO	QL1.1 Improve Community Quality of Life QL1.1 Mejorar la Calidad de Vida de la Comunidad					
		QL1.2 Stimulate Sustainable Growth & Development QL1.2 Estimular el desarrollo y el crecimiento sostenible					
		QL1.3 Develop Local Skills And Capabilities QL1.3 Desarrollar Capacidades y Habilidades Locales					
	COMMUNITY COMUNIDAD	QL2.1 Enhance Public Health And Safety QL2.1 Mejorar la Salud Pública y la Seguridad					
		QL2.2 Minimize Noise And Vibration QL2.2 Minimizar ruidos y vibraciones					
		QL2.3 Minimize Light Pollution QL2.3 Minimizar Contaminación Lumínica					
		QL2.4 Improve Community Mobility And Access QL2.4 Mejorar el acceso y la movilidad de la Comunidad					
		QL2.5 Encourage Alternative Modes of Transportation QL2.5 Fomentar modos alternativos de transporte					
		QL2.6 Improve Site Accessibility, Safety & Wayfinding QL2.6 Mejorar la accesibilidad, seguridad y señalización					
	WELLBEING BIENESTAR	QL3.1 Preserve Historic And Cultural Resources QL3.1 Preservar los recursos históricos y culturales					
		QL3.2 Preserve Views And Local Character QL3.2 Preservar las vistas y el carácter local					
		QL3.3 Enhance Public Space QL3.3 Mejorar el espacio público					
	VULNERABLE GROUPS GRUPOS VULNERABLES	QL4.1 Identify and address the needs of minorities QL4.1 Identificar y considerar las necesidades de minorías					
		QL4.2 Stimulate and promote women's empowerment QL4.2 Estimular y promover el empoderamiento femenino					
		QL4.3 Improve access and mobility of minorities QL4.3 Mejorar el acceso y movilidad de minorías					
	QL0.0 Innovate Or Exceed Credit Requirements QL0.0 Créditos Innovadores o que exceden los requerimientos						

**Figura 4.2-2 Resultados de la Evaluación Ambiental Choluteca I y II para el componente de Liderazgo.**

		CHOLUTECA I & II	IMPROVED	ENHANCED	SUPERIOR	CONSERVING	RESTORATIVE
		CHOLUTECA I & II	MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
LEADERSHIP LIDERAZGO	COLLABORATION COLABORACIÓN	LD1.1 Provide Effective Leadership And Commitment LD1.1 Proporcionar compromiso y liderazgo efectivo					
		LD1.2 Establish A Sustainability Management System LD1.2 Establecer un sistema de gestión de la sostenibil-					
		LD1.3 Foster Collaboration And Teamwork LD1.3 Promover Colaboración y trabajo en equipo					
		LD1.4 Provide For Stakeholder Involvement LD1.4 Fomentar la participación de las partes interesadas					
	MANAGEMENT GESTIÓN	LD2.1 Pursue By-Product Synergy Opportunities LD2.1 Buscar oportunidades de sinergia derivada					
		LD2.2 Improve Infrastructure Integration LD2.2 Mejorar la integración de infraestructuras					
	PLANNING PLANIFICACIÓN	LD3.1 Plan For Long-Term Monitoring & Maintenance LD3.1 Planificar el monitoreo y mantenimiento a largo plazo					
		LD3.2 Address Conflicting Regulations & Policies LD3.2 Lidar con reglamentos y políticas en conflicto					
		LD3.3 Extend Useful Life LD3.3 Extender la vida útil					
		LD0.0 Innovate Or Exceed Credit Requirements LD0.0 Créditos Innovadores o que exceden los requerimientos					

Fuente: (SunEdison-Hardvard et al., 2016)

**Figura 4.2-3 Resultados de la Evaluación Ambiental Choluteca I y II para el componente de Asignación de Recursos.**

		CHOLUTECA I & II	IMPROVED	ENHANCED	SUPERIOR	CONSERVING	RESTORATIVE
		CHOLUTECA I & II	MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
MATERIALS MATERIALES	RA1.1 Reduce Net Embodied Energy RA1.1 Reducir energía neta incorporada						
	RA1.2 Support Sustainable Procurement Practices RA1.2 Apoyar prácticas de adquisición sustentable						
	RA1.3 Used Recycled Materials RA1.3 Utilizar materiales reciclados						
	RA1.4 Use Regional Materials RA1.4 Utilizar materiales de la región						
	RA1.5 Divert Waste From Landfills RA1.5 Disminuir la disposición final en rellenos sanitarios						
	RA1.6 Reduce Excavated Materials Taken Off Site RA1.6 Reducir los materiales de excavación sacados del local del proyecto						
	RA1.7 Provide for Deconstruction & Recycling RA1.7 Prever condiciones para la remoción de la construcción y el reciclaje						
ENERGY ENERGÍA	RA2.1 Reduce Energy Consumption RA2.1 Reducir el consumo de energía						
	RA2.2 Use Renewable Energy RA2.2 Usar energías renovables						
	RA2.3 Commission & Monitor Energy Systems RA2.3 Puesta en servicio y monitoreo de sistemas energéticos						
WATER AGUA	RA3.1 Protect Fresh Water Availability RA3.1 Proteger la disponibilidad de agua dulce						
	RA3.2 Reduce Potable Water Consumption RA3.2 Reducir el consumo de agua potable						
	RA3.3 Monitor Water Systems RA3.3 Monitorear sistemas de provisión de agua						
	RA0.0 Innovate Or Exceed Credit Requirements RA0.0 Créditos innovadores o que exceden los requerimientos						

**Figura 4.2-4 Resultados de la Evaluación Ambiental Choluteca I y II para el componente de Mundo Natural.**

		CHOLUTECA I & II	IMPROVED	ENHANCED	SUPERIOR	CONSERVING	RESTORATIVE
		CHOLUTECA I & II	MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
SITING EMPLAZAMIENTO	NW1.1 Preserve Prime Habitat NW1.1 Preservar hábitats de alta calidad						
	NW1.2 Preserve Wetlands and Surface Water NW1.2 Preservar humedales y aguas superficiales						
	NW1.3 Preserve Prime Farmland NW1.3 Preservar tierras agrícolas de alta calidad						
	NW1.4 Avoid Adverse Geology NW1.4 Evitar zonas de geología adversa						
	NW1.5 Preserve Floodplain Functions NW1.5 Preservar funciones de llanura aluvial						
	NW1.6 Avoid Unsuitable Development on Steep Slopes NW1.6 Evitar la ocupación inadecuada en pendientes pronunciadas						
	NW1.7 Preserve Greenfields NW1.7 Preservar áreas sin ocupación						
LAND + WATER IMPACTOS EN EL AGUA Y SUELO	NW2.1 Manage Stormwater NW2.1 Gestión de aguas pluviales						
	NW2.2 Reduce Pesticides and Fertilizer Impacts NW2.2 Reducir el impacto de fertilizantes y plaguicidas						
	NW2.3 Prevent Surface and Groundwater Contamination NW2.3 Prevenir la contaminación de aguas superficiales y profundas						
BIODIVERSITY BIODIVERSIDAD	NW3.1 Preserve Species Biodiversity NW3.1 Preservar la biodiversidad						
	NW3.2 Control Invasive Species NW3.2 Control de especies invasivas						
	NW3.3 Restore Disturbed Soils NW3.3 Restaurar suelos alterados						
	NW3.4 Maintain Wetland and Surface Water Functions NW3.4 Preservar los humedales y las funciones de aguas superficiales						
	NW0.0 Innovate or Exceed Credit Requirements NW0.0 Créditos innovadores o que exceden los requerimientos						

**Figura 4.2-5 Resultados de la Evaluación Ambiental Choluteca I y II para el componente de Clima y Riesgo.**

		CHOLUTECA I & II	IMPROVED	ENHANCED	SUPERIOR	CONSERVING	RESTORATIVE
		CHOLUTECA I & II	MEJORA	AUMENTA	SUPERIOR	CONSERVA	RESTAURA
EMISSIONS EMISIONES	CR1.1 Reduce Greenhouse Gas Emissions CR1.1 Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)						
	CR1.2 Reduce Air Pollutant Emissions CR1.2 Reducir las emisiones contaminantes del aire						
RESILIENCE RESILIENCIA	CR2.1 Assess Climate Threat CR2.1 Evaluar amenazas relacionadas al Cambio Climático						
	CR2.2 Avoid Traps And Vulnerabilities CR2.2 Evitar situaciones de riesgo y vulnerabilidad						
	CR2.3 Prepare For Long-Term Adaptability CR2.3 Establecer estrategias de adaptación de largo plazo, frente al Cambio Climático						
	CR2.4 Prepare For Short-Term Hazards CR2.4 Preparación frente a riesgos de corto plazo						
	CR2.5 Manage Heat Island Effects CR2.5 Administrar el efecto Isla de Calor						
	CR0.0 Innovate Or Exceed Credit Requirements CR0.0 Créditos innovadores o que exceden los requerimientos						

### 4.2.1 Análisis de la evaluación ambiental en términos de acumulación y sinergia

La siguiente *Tabla 4.2-1* muestra la clasificación y descripción de impactos ambientales negativos y positivos, corresponden a aquellos impactos identificados con mayor relevancia encontrados dentro del estudio y que son suficientes y necesarios para la equivalencia con la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para el análisis comparativo. Es importante mencionar que el EIA no manifiesta de manera explícita la clasificación o el análisis riguroso de la acumulación o la sinergia de los impactos y de las medidas de mitigación; sin embargo, dadas las descripciones brindadas en el estudio, se clasifican según su ocurrencia, en acumulativos o sinérgicos y se mantienen descritos en las categorías que se mencionaron anteriormente. Si bien la acumulación puede tener un efecto positivo o negativo, así también la sinergia.

**Tabla 4.2-1 Análisis de los impactos acumulativos y sinérgicos del estudio de impacto ambiental**

TIPO DE	ACUMULATIVOS	SINÉRGICOS
<b>IMPACTOS</b>	Calidad de Vida	
<b>POSITIVOS</b>	Donación de 100,000 paneles solares y aproximadamente 837,660 HNL de materiales para un proyecto eléctrico en Aldea Montecillos	En el estudio de impacto ambiental del proyecto, surgió la preocupación por la proximidad de las tres centrales solares y por el efecto potencialmente negativo de las líneas de transmisión en el paisaje y en la identidad agrícola del área. Señalización de la vía central de acceso que conecta la zona del proyecto a la comunidad de San José de la Landa
	Clima y Riesgo	Liderazgo
	Dado que el proyecto consiste en una central fotovoltaica, esta genera electricidad de una fuente renovable, y no involucra el uso de combustibles fósiles y evitando así la emisión de gases de efecto invernadero como parte del proceso de generación de energía	Construcción de un tanque de aire con su plomería en San José de la Landa
		la construcción de un muro perimetral y portones de acceso al centro educativo comunitario en Colonia El Edén la excavación de un pozo y la instalación de una bomba de agua, como también la construcción de un tanque elevado para distribuir a las comunidades agua por gravedad en Colonia Víctor Manuel Argeñal I
<b>NEGATIVOS</b>	Mundo Natural	Asignación de Recursos
	El área que rodea el proyecto ha pasado por una deforestación histórica extensa por usos agrícolas y ganaderos. Agricultura y ganadería son los usos recomendados, debido a su pendiente suave y la textura arenosa y arcillosa de sus suelos.	El proyecto no promueve el reciclaje, el upcycling o la reutilización futura, o no ha sido diseñado con el objetivo de reducir y hacer eficaces el desmontaje o deconstrucción del proyecto al final de su vida útil.
	Biodiversidad	
	En primer lugar, el desarrollo de Choluteca I y II modificará el hábitat ya que se eliminarán porciones de la cubierta vegetal y esto afectará el hábitat de la fauna del lugar. Aunque este impacto se considera temporal y reversible, desplazará la fauna de la región. Adicionalmente, involucró la compactación, perturbación y erosión de suelos en la preparación del área del proyecto para la construcción	

Fuente: elaboración propia a partir de (SunEdison-Hardvard et al., 2016)

### 4.3 Estudio de impacto ambiental de la planta solar fotovoltaica CHOLUTECA II.

La presente sección se complementa al del numeral {6.1} través del estudio de impacto ambiental, realizado a partir de la metodología matricial de identificación de impacto convencional (MIIA), realizado por Soluciones Energéticas Renovables, S.A. de C.V (SERSA) específicamente para la etapa de CHOLUTECA SOLAR II. La metodología descrita en su EIA cita que “de manera interactiva e reiterada se desarrollaron las siguientes actividades: En primer lugar, se realizó una inspección de campo, con la participación un analista ambiental, biólogo y otro personal de apoyo. Posteriormente el equipo tomó nota de las condiciones físicas y biológicas prevalecientes en el área propuesta para el proyecto, tomando fotografías y lecturas con GPS de los puntos de interés, como correderos no permanentes, límites de vegetación, límites de terreno, accidentes geográficos, flora y fauna presente. Con esta información, se procedió a describir el medio biofísico, con el propósito de generar una línea base, considerando aspectos tales como clima, hidrología, cobertura vegetal, análisis del uso y cobertura del suelo, avifauna e ictiología, suelos, geología, geomorfología, hidrogeología, aspectos culturales (restos arqueológicos), emisiones sonoras, emisiones atmosféricas y aspectos socioeconómicos” (SERSA, 2014).

El proceso de evaluación ambiental, lo resumen en tres principales etapas, las cuales son: Evaluación de los impactos potenciales, Clasificación (altos, medios y bajos) y desarrollo de matrices que se utilizarán para calificar los impactos potenciales. A continuación, en la siguiente *Tabla 4.3-1* se presentan las categorías escogidas para el análisis matricial.

Tabla 4.3-1 Categorías analizadas en el sistema Matricial

- Geología Regional
- Geología Local
- Sismicidad
- Inventario De Infraestructura Vial Existente Y Propuesta
- Cantidades De Desechos Líquidos Y Sólidos
- Nivelación Del Terreno, Balance De Masas (Corte Y Relleno), Botaderos Y Bancos De Préstamo De Materiales.
- Fuente, Sistema De Abastecimiento Y Tratamiento De Agua Para Uso Humano.
- Clima
- Cobertura Vegetal
- Fauna
- Flora
- Aspectos Sociodemográficos

*Fuente: Adaptado de (SERSA, 2014)*

En la Tabla 4.3-2 se presentan las actividades de la construcción del emplazamiento solar que representaron mayor relevancia para el análisis. Es importante mencionar que “la valoración del impacto se midió con base en el grado de manifestación cualitativa del efecto que queda reflejado en lo que definimos como importancia del impacto” (SERSA, 2014).

**Tabla 4.3-2 Nivel de Cumplimiento de los indicadores**

- Corte de la vegetación existente
- Relleno de material para la nivelación del terreno
- Actividades de mantenimiento de los equipos
- Instalación de equipos de generación
- Transporte de los equipos
- Actividades laborales

Fuente: Adaptado de (SERSA, 2014)

### 4.3.1 Resultados matriciales

En etapa de construcción, se notó un cambio significativo de resultados, frente a lo que se halló en bajo el sistema de calificación de Envision. En este caso, de acuerdo con la matriz MIIA, se evidenciaron “impactos ambientales severos el Suelo con un valor de importancia de 53 y 52, la Fauna con un valor de importancia de 53. Los impactos moderados resultaron ser el Agua con un valor de importancia de 44, el Paisajismo con un valor de importancia de 49, el Aire con un valor de importancia de 42, la Flora con un valor de importancia de 50, la Fauna con un valor de importancia de 48. El impacto positivo en el medio Social con un valor de importancia de 48 y 50. Por lo que se concluye que los impactos ambientales identificados como relevantes constituyen un 30% siendo estos severos pero no solo en un sentido negativo sino que también se debe tomar en cuenta que se encuentra un valor positivo y el 70% de las actividades que causaran un impacto ambiental moderado” (SERSA, 2014). Toda esta valoración corresponde a la etapa de construcción y se puede apreciar la puntuación real en la Figura 4.3-1.

**Figura 4.3-1 Matriz de Impactos Ambientales en etapa de Construcción**

MATRIZ MIIA ETAPA DE CONSTRUCCION													
Factor Impactado	Impacto	Intensidad	Extension	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulacion	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	Importancia	Tipo
Agua	Contaminacion de la fuente de agua subteranea por mal manejo de aceites o hidrocarburos	4	2	2	4	4	2	4	4	4	4	44	Moderados
	Paisajismo	Cambio de Paisaje	4	4	4	4	4	1	4	4	4	49	Moderados
Aire	Generación de Polvo por las actividades de instalación de Paneles	4	2	4	2	2	2	4	4	4	4	42	Moderados
Suelo	Cambio de Uso de Suelo	4	4	4	4	4	4	1	4	4	8	53	Severos
	Pérdida de vegetación existente en el área del proyecto	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52	Severos
Flora	corte de arboles	4	4	4	8	4	4	4	4	2	4	50	Moderados
Fauna	Desplazamiento de fauna presente en el área del proyecto	4	2	4	4	4	2	4	4	2	8	48	Moderados
	Daño al habitat de la fauna presente en el área afectada	8	2	1	4	4	2	4	4	2	4	53	Severos
Social	apoyo a comunidades aledañas	4	4	2	4	4	4	4	4	2	4	48	Moderados
	Generacion de Empleo	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	50	Moderados

Fuente: (SERSA, 2014)

En la etapa de operación, se presenta un patrón similar en cuanto a la diferencia de la calificación de impactos mediante evaluación matricial con MIIA que con el sistema Envision. En este caso, se notaron

“impacto severo el Agua con un valor de importancia de 50. Los impactos moderados resultaron el Paisajismo con un valor de importancia de 49 y el medio Social con un valor de importancia de 41. Por lo que se concluye que los impactos ambientales identificados como relevantes constituyen un 25% siendo estos severos pero no solo en un sentido negativo sino que también se debe tomar en cuenta que se encuentra un valor positivo y el 75% de las actividades que causaran un impacto ambiental de moderado a severo” (SERSA, 2014). Toda esta valoración corresponde a la etapa de operación y se puede apreciar la puntuación real en la Figura 4.3-2.

**Figura 4.3-2 Matriz de Impactos Ambientales en etapa de Operación**

MATRIZ MIA ETAPA DE OPERACIÓN													
Factor Impactado	Impacto	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	Importancia	Tipo
Agua	Aumento en la demanda de agua subterránea	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	50	Moderados
Paisajismo	Cambio de Paisaje	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	49	Moderados
Social	apoyo a comunidades aledañas	4	2	1	4	4	2	4	4	2	4	41	Moderados
	Generación de Empleos	2	4	1	4	4	2	4	4	4	4	41	Moderados

Fuente: (SERSA, 2014)

### 4.3.2 Análisis de la evaluación ambiental en términos de acumulación y sinergia

En el estudio realizado por (SERSA, 2014), especifican claramente cómo se define la acumulación y la sinergia. A continuación, se citan textual tales términos, y en la Tabla 4.3-3 se muestra la calificación para dichos impactos en las diferentes etapas que fueron analizados.

#### Sinergia (SI)

“Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocada por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provoca actúan de manera independiente y no simultánea. (La dosis letal de un producto A, es DLA y la de un producto B, DLB. Aplicados simultáneamente la dosis letal de ambos productos DLAB es mayor que DLA + DLB). Cuando una acción actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el atributo toma el valor de 1, si presenta un sinergismo moderado, toma el valor de 2 y si es altamente sinérgico deberá asignársele un valor de 4. Cuando se presentan casos de debilitamiento, la valoración del efecto presentará valores de signo negativo, reduciendo al final el valor de la Importancia del Impacto”.

#### Acumulación (AC)

“Este atributo da la idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. (La ingestión reiterada de DDT, al no eliminarse de los tejidos, da lugar a un incremento progresivo de su presencia y de sus consecuencias, llegando a producir la muerte). Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple), el efecto se valora como (1). Si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a (4)”.

**Tabla 4.3-3 Relación de impactos acumulativos y sinérgicos EIA Choluteca II**

IMPACTOS	ASPECTO	IMPACTO	ACUMULATIVOS	SINÉRGICOS
Etapa de Construcción	Agua	Contaminación de aguas subterráneas por mal manejo de aceites o hidrocarburos	4	2
	Paisajismo	Cambio al paisaje	1	4
	Aire	Generación de polvo por las actividades de instalación de paneles	4	2
	Suelo	Cambio en el uso del suelo	1	4
		Pérdida de vegetación en el área del proyecto	4	4
	Flora	Tala de árboles	4	4
	Fauna	Desplazamiento de fauna presente en el área del proyecto	4	2
		Daño al hábitat de la fauna presente en el área afectada	4	2
	Social	Apoyo a comunidades aledañas	4	4
		generación de Empleos	4	2
Etapa de Operación	Agua	Aumento en la demanda de Agua subterránea	4	2
	Paisajismo	Cambio al paisaje	1	4
	Social	Apoyo a comunidades aledañas	4	2
		generación de Empleos	4	2

Fuente: Elaboración propia a partir de (SERSA, 2014)

En resumen, se observa que, según esta calificación otorgada por (SERSA, 2014) los impactos considerados de índole acumulativa son aquellos referentes al agua y índole socioeconómica en ambas etapas, y aquellos relacionados al Aire, Suelo, Flora y Fauna. Sin embargo, es importante resaltar, que, según los evaluadores, la categoría Paisaje y Cambio en el Uso del Suelo, cuyos efectos se prolongan en las etapas de construcción y operación, se consideran No-Acumulativos dada su calificación <uno>. Esto, evidentemente es una desestimación a los efectos que posee una planta solar fotovoltaica de la extensión de Choluteca, en sus Fases I y II.

A continuación, se presenta el Capítulo 5, en donde se abarcan los resultados asociados al Análisis de ciclo de vida, el análisis según los datos aplicados a las plantas Choluteca I y II y finalizando por el análisis de la evaluación ambiental en términos de acumulación y sinergia.

## 5. Resultados Metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El análisis de ciclo de vida para el presente proyecto, se realizó utilizando el software UMBERTO desarrollado por IFH de Hamburgo:

*“NTX es una poderosa herramienta para mejorar su equilibrio ambiental. Con el software Umberto LCA puede construir un modelo gráfico del sistema de producción y ciclo de vida del producto, generar un análisis de inventario del ciclo de vida y eventualmente crear una evaluación del impacto del ciclo de vida. El resultado produce una visión rápida de los impactos ambientales de un producto<sup>4n</sup>.”*

La base de datos utilizada para este fin, es ECOINVENT versión 2.2. Las categorías que figuran en la siguiente Tabla 4.3-1, son todos aquellos datos disponibles y recopilados a través de socios de la licencia de distintos softwares para ACV, que donan a las bases de datos sobre proyectos reales y valorados bajo estas metodologías. Por su parte, los datos registrados en la Tabla 5.1-3, corresponde a la configuración con que se presentó el análisis de ciclo de vida en la interfase de Umberto NTX. Esta está dividida según las etapas del proyecto, la fuente de donde surgió la información, la actividad específica y los subprocesos donde se cargaron los datos de entrada y salida de materias primas y procesadas.

Las bases de datos de Ecoinvent, poseen datos complementados de diversas fuentes, estas son alimentadas de proyectos alrededor del mundo, que pueden identificarse según su coeficiente [RER], [CH], [US], [GLO] que corresponden a aquellos códigos de región que no son parte de la lista ISO; en este caso, las anteriores siglas, corresponden a Europa, China, Estados Unidos, y Global, respectivamente. Estos datos fueron entonces extractados desde las bases de datos de Ecoinvent versión 2.2 para las etapas 1 y 2 de la Figura 5.1-1. Sin embargo, para todas las etapas, se complementó la información hallada en estudios de plantas solares fotovoltaicas, acerca del uso de los recursos. Estas son como se describen a continuación en la siguiente Tabla 5.1-2, discriminadas en las diferentes etapas y subprocesos de fabricación y obtención de los módulos fotovoltaicos.

**Tabla 4.3-1 categorías de análisis contenidas en las bases de Datos Ecoinvent.**

DATOS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA	MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO
Proveedor de energía	CML 2001
Productos químicos	EDIP 1997 y EDIP 2003
Producción de Plásticos y Plásticos	Eco-Indicador 99 (las tres perspectivas)

<sup>4</sup> <https://www.ifu.com/en/umberto/environmental-management/umberto-nxt-lca/>

Producción y transformación de metales	Huella de carbono
Transporte y Movilidad	Escasez Ecológica 1997 & 2006 & 2013
Disposición	Potencial de Daño en el Ecosistema (PDE)
Construcción	Estrategia de Prioridad Ambiental (EPS 2000)
Agricultura (incluidos los plaguicidas)	Demanda Energética Acumulativa (CED)
Tecnología de la información y la comunicación	Demanda acumulada de Exergy (CExD)
Electrónica	IPCC 2001, IPCC 2007, IPCC 2013
Biocombustibles y materiales	IMPACT 2002+
Ingeniería	TRACI
Industria del papel	USEtox
Procesos de Reciclaje	ReCiPe (punto medio y punto final)
Datos sobre el agua	

Fuente: Adaptado de IFH Hamburg Online

### 5.1 Proceso de Análisis de Ciclo de Vida

El proceso de realizar el análisis de ciclo de vida para el proyecto solar fotovoltaico Choluteca I y II, comienza valorando aquellos datos de entrada sobre extensión de tierra destinada para el emplazamiento solar, cuyos datos se pueden apreciar en la siguiente Tabla 5.1-1. Para el ingreso de los datos al software, se dividió las secciones de trabajo por las etapas del proyecto, como se aprecia en la Tabla 5.1-3 y en la Figura 5.1-1; allí se puede apreciar que el sistema está acotado a aquellas etapas principales (Extracción y Obtención de materias primas, la fabricación completa de los módulos y el ensamble de la planta y puesta en operación) las etapas posteriores a esta, es decir, aquellas que se cumplen una vez finaliza la vida útil del proyecto, no están tenidas en cuenta en el análisis de ciclo de vida. Lo anterior, por cuanto no existen datos asociados a dichas prácticas de cierre de infraestructura eléctrico y el reciclaje de las estructuras propias.

**Tabla 5.1-1 Cifras de interés para el ACV del Sistema de Generación Fotovoltaico**

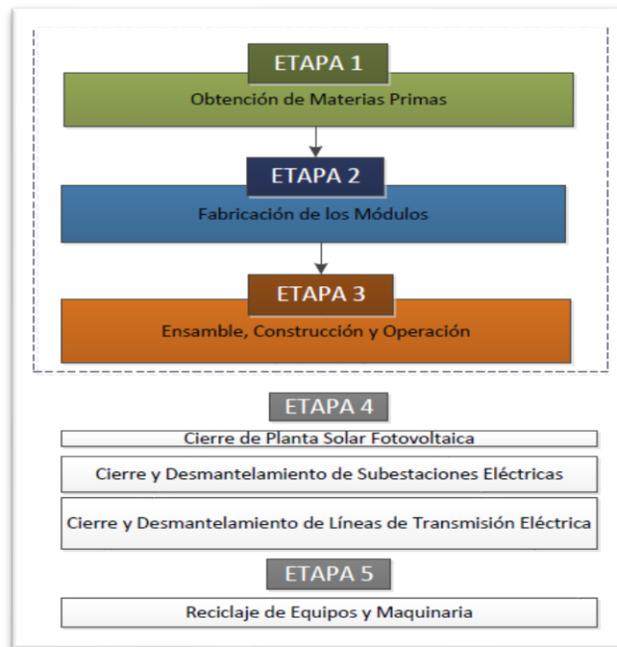
<b>Capacidad total de generación</b>	58 MWP	112 GWh/año
16 subcampos	76320	
32 subcampos	115280	
<b>Número total de paneles</b>	191.600	
<b>Dimensiones panel</b>	largo (m)	1,65
	ancho (m)	0,99
<b>Área ocupada por los paneles m2</b>	312978,6	
<b>Área total lote 151 ha</b>	1510000	m2

Fuente: Elaboración propia a partir de (SunEdison-Hardvard et al., 2016)

A continuación, en los siguientes diagramas se presentan cada una de las etapas del proyecto, descritas, según la información disponible en las bases de datos de Ecoinvent. Estas, de manera genérica, simulan el análisis de ciclo de vida de la planta solar fotovoltaica Choluteca I y II. En la Figura 5.1-2 se presenta la sección de cálculo para la etapa 1 del ACV que corresponde a extracción y obtención de materias primas. Seguidamente, en las Figura 5.1-3y Figura 5.1-4, se presentan las

secciones de cálculo para la etapa 2, correspondiente al proceso de fabricación de los módulos fotovoltaicos. Más adelante, en las Figura 5.1-5, Figura 5.1-7, y se resume el proceso de ensamble de los módulos para conformación del proyecto completo; cada figura corresponde entonces a una sub-actividad de la etapa 3. Y finalmente en la Figura 5.1-9 se presenta la gráfica con el esquema completo del análisis de ciclo de vida de la planta solar.

**Figura 5.1-1 Límites del sistema a analizar en el Análisis de Ciclo de Vida**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.1-2 Fuentes bibliográficas complemento de datos para ACV por etapas**

Etapa	Procesos	Fuente
Obtención de Materias Primas	Obtención del Silicio Cristalino (Pastillas)	(Fthenakis et al., 2011) (Pehnt, 2006)
Fabricación de los Módulos	Fabricación de la Galleta de Multi-Si	(Fthenakis et al., 2011)
	Fabricación de la Celda Multi-Si fotovoltaica	(Fthenakis et al., 2011)
	Proceso de Laminado fotovoltaico Multi-Si	(Fthenakis et al., 2011) (Zhang, 2011)
	Fabricación del Panel fotovoltaico Multi-Si	(Fthenakis et al., 2011)
Ensamble, Construcción y Operación	Adecuación de terrenos	(Desideri, Proietti, Zepparelli, Sdringola, & Bini, 2012)
	cercamiento	
	Instalación de (SE) a Bajo Voltaje	
	Cableado	

	Aparatos para conexión eléctrica	
	Instalación de Estructuras de soporte	
	Instalación de Módulos Fotovoltaicos	
	Instalación de (SE) a mediano Voltaje	

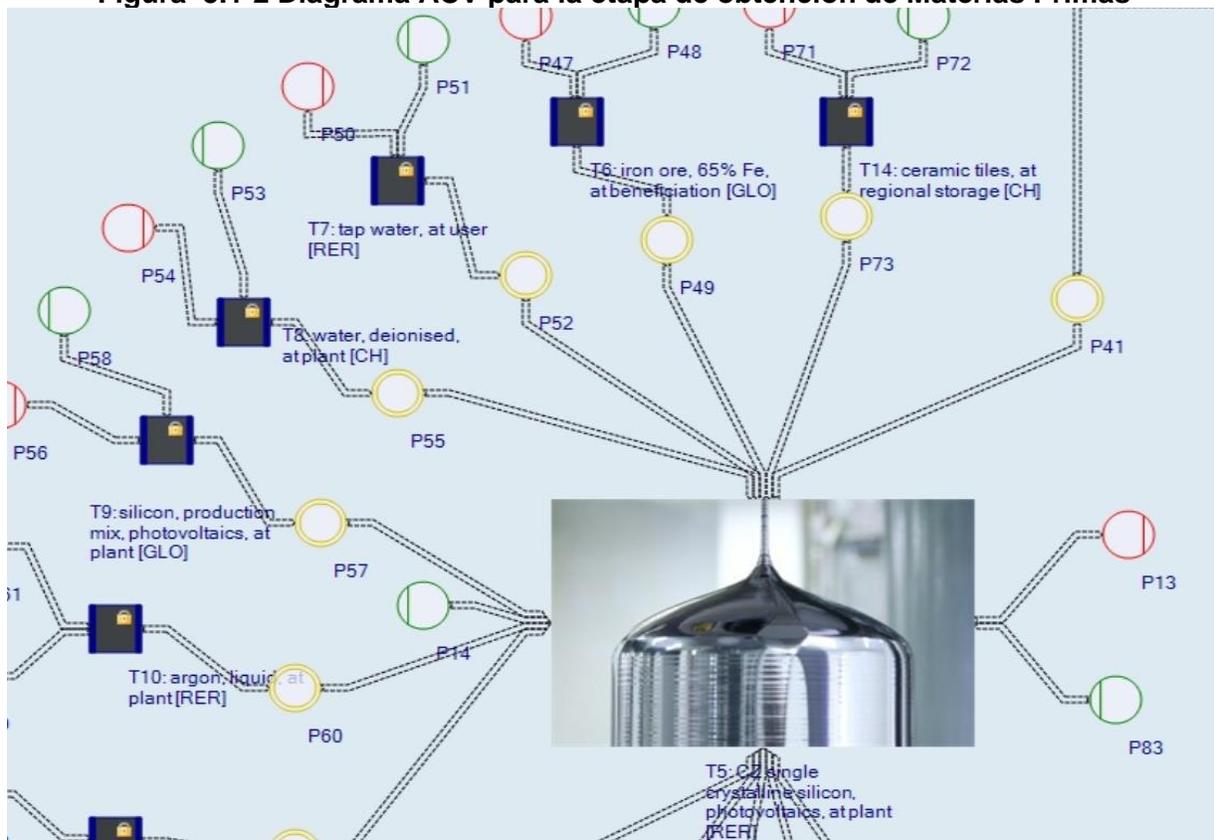
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.1-3 Listado de procesos por etapa del ciclo de vida**

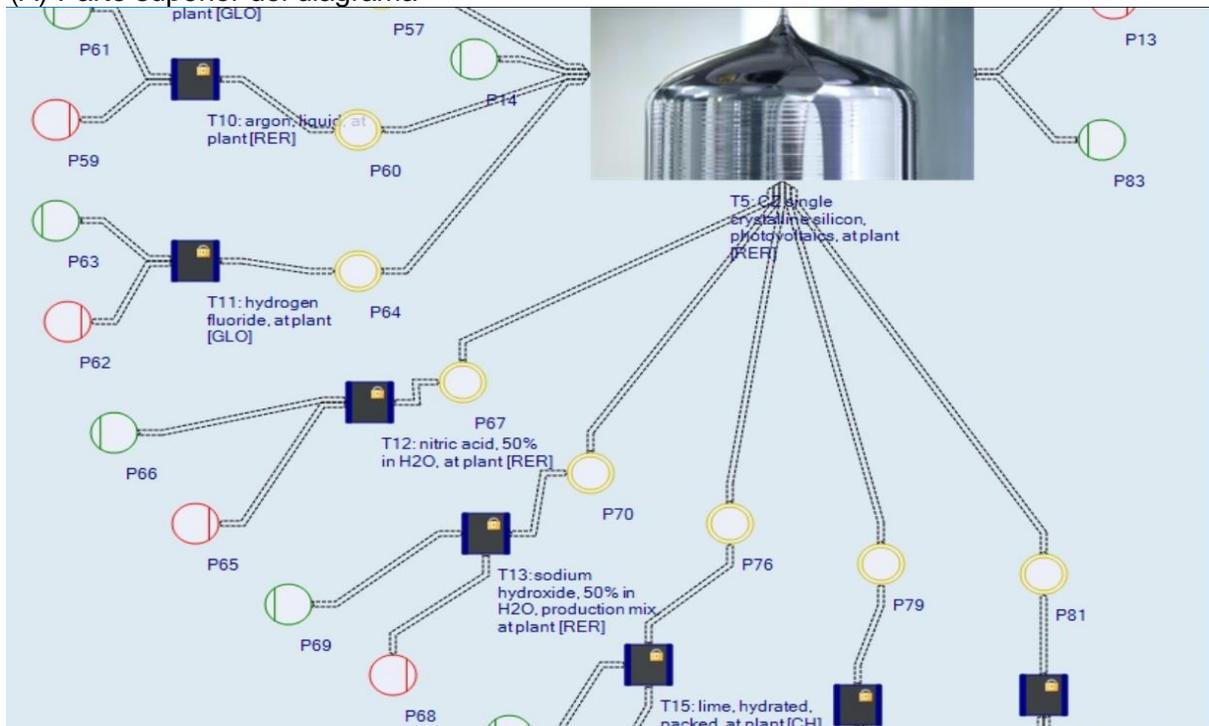
Etapa	Nombre	Fuente	Nodo	Entrada	Salida	Procesos
Obtención de Materias Primas	T5	RER	P41	P83	P13	Obtención del Silicio Cristalino (Pastillas)
	T6	GLO	P49	P48	P47	Mineral de Hierro, 65% Fe.
	T7	RER	P52	P51	P50	Agua de grifo-para proceso en fabrica
	T8	CH	P55	P53	P54	Agua desionizada-para proceso en fábrica
	T9	GLO	P57	P58	P56	Producción de Silicona para fotovoltaicos
	T10	RER	P60	P61	P59	Argón Líquido-para proceso en fábrica
	T11	GLO	P64	P63	P62	Fluoruro de Hidrogeno-para proceso en fábrica
	T12	RER	P67	P66	P65	Ácido nítrico, 50% en Agua
	T13	RER	P70	P69	P68	Hidróxido de sodio, 50% en Agua
	T14	CH	P73	P72	P71	Almacenamiento de Azulejos Cerámicos
	T15	CH	P76	P75	P74	Lima hidratada y compactada
	T16	US	P79	P78	P77	Electricidad a medio voltaje-en red
	T17	RER	P81	P82	P80	Gas natural-Combustión proceso industrial
Fabricación de los Módulos	T1	RER	P41	P2	P1	Fabricación de la Galleta de Multi-Si
	T2	RER	P42	P5	P4	Fabricación de la Celda Multi-Si fotovoltaica
	T3	RER	P43	P8	P7	Proceso de Laminado fotovoltaico Multi-Si
	T4	RER	P44	P11	P10	Fabricación del Panel fotovoltaico Multi-Si
Ensamble, Construcción y Operación	E/C/O_1	(Desideri, Proietti, Zepparelli, Sdringola, & Bini, 2012) (Pehnt, 2006) (Zhang, 2011)	P45	P20	P21	Adecuación de terrenos
	E/C/O_2		P84	P19	P22	cercamiento
	E/C/O_3		P85	P24	P25	Instalación de (SE) a Bajo Voltaje
	E/C/O_4		P89	P27	P28	Cableado
	E/C/O_5		P90	P30	P31	Aparatos para conexión eléctrica
	E/C/O_6		P91	P33	P34	Instalación de Estructuras de soporte
	E/C/O_7		P92	P37	P38	Instalación de Módulos Fotovoltaicos
	E/C/O_8		P93	P39	P95	Instalación de (SE) a mediano Voltaje

Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

**Figura 5.1-2 Diagrama ACV para la etapa de obtención de Materias Primas**



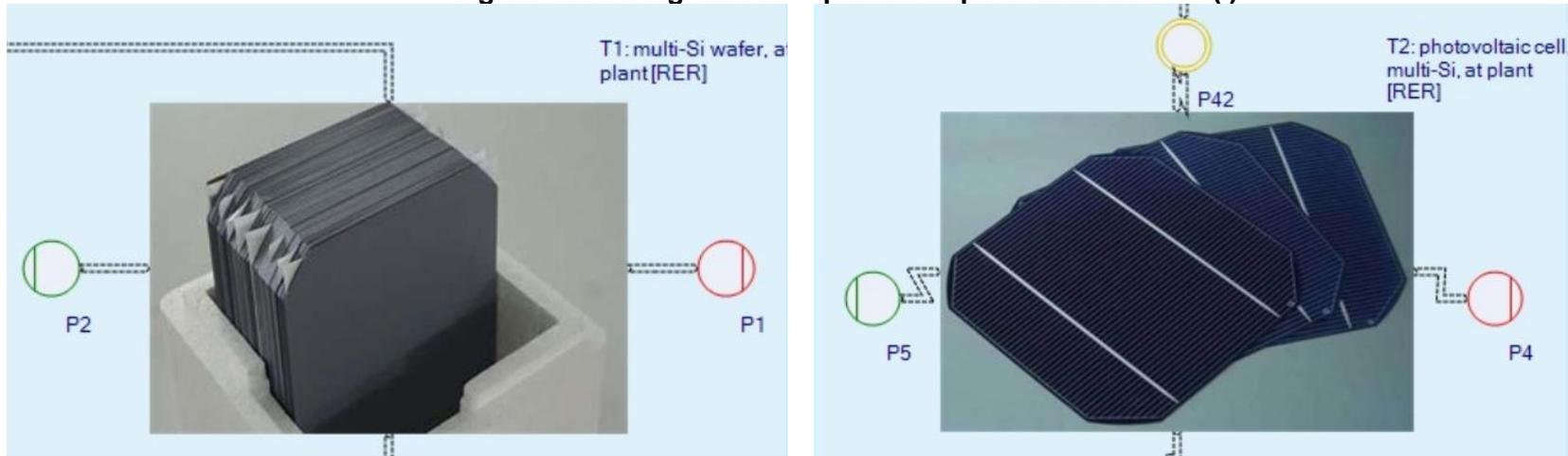
(A) Parte superior del diagrama



(B) Parte inferior del Diagrama

Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

**Figura 5.1-3 Diagrama ACV para la etapa de Manufactura (I)**

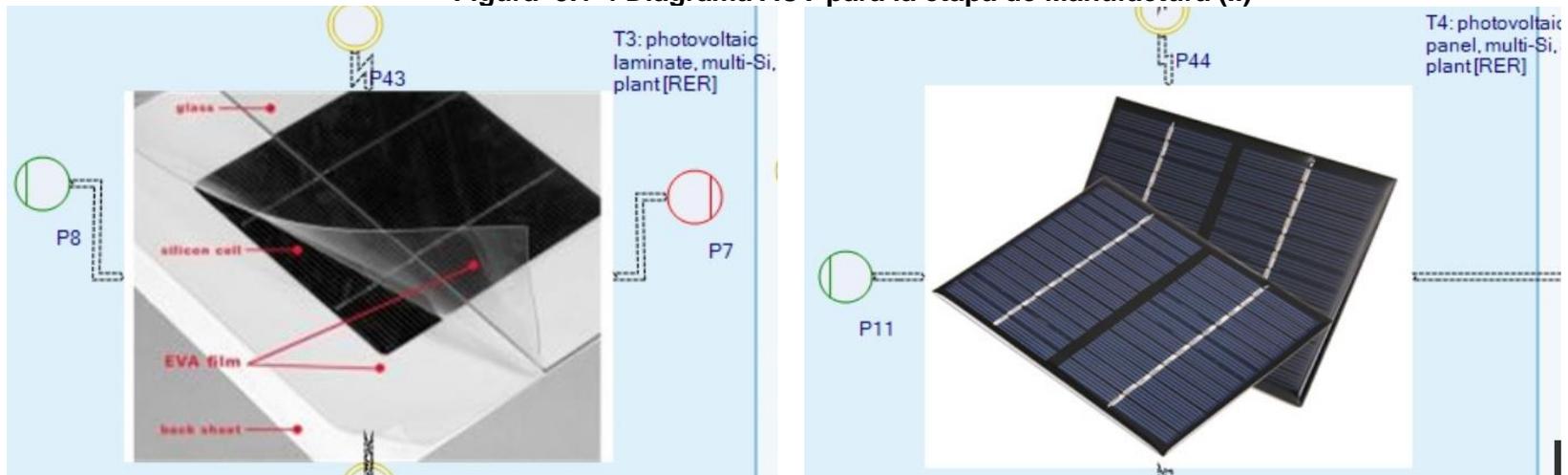


(A) Fabricación de las Galletas a partir de Silicio

(B) Fabricación de las Celdas de Si-Multi-cristalino

Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

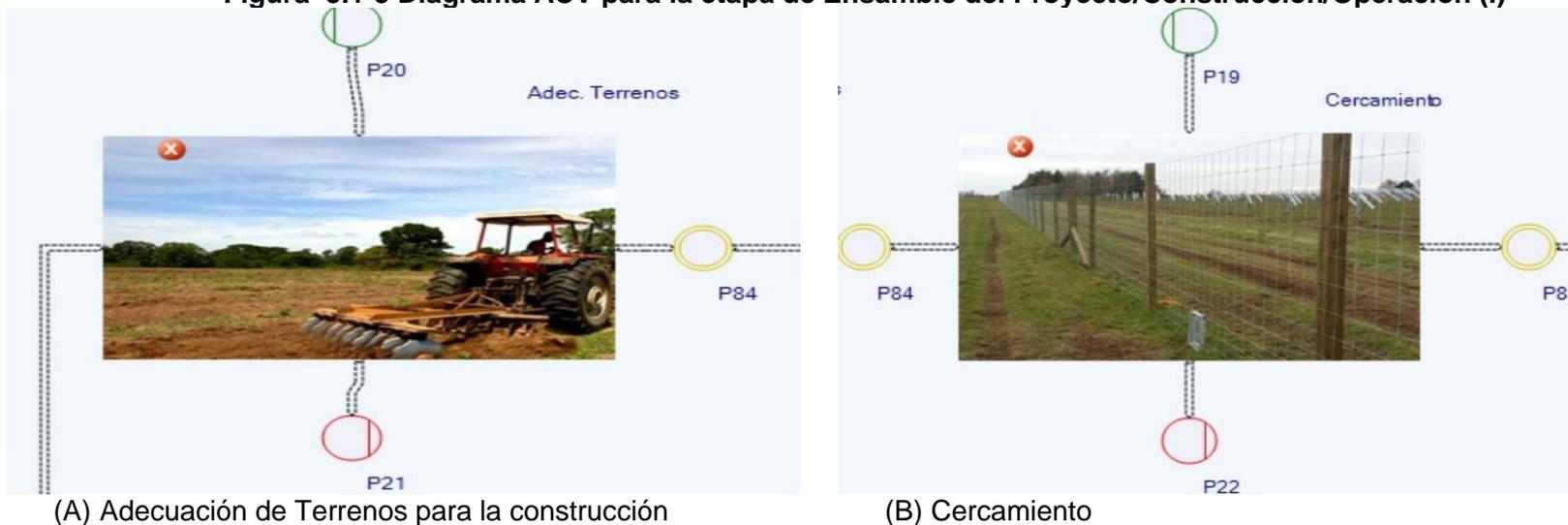
**Figura 5.1-4 Diagrama ACV para la etapa de Manufactura (II)**



(A) Instalación del Laminado para celdas fotovoltaicas

(B) Fabricación de las Celdas de Si-Multicristalino

**Figura 5.1-5 Diagrama ACV para la etapa de Ensamble del Proyecto/Construcción/Operación (I)**

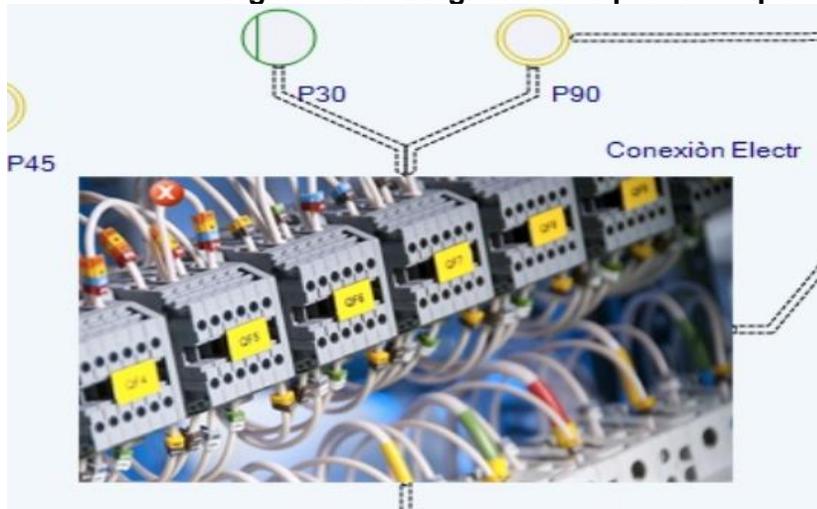


**Figura 5.1-6 Diagrama ACV para la etapa de Ensamble del Proyecto/Construcción/Operación (II)**



Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

**Figura 5.1-7 Diagrama ACV para la etapa de Ensamble del Proyecto/Construcción/Operación (III)**



(E) Instalación de equipos para la conexión eléctrica



(F) Instalación de Estructuras de soporte de los paneles

**Figura 5.1-8 Diagrama ACV para la etapa de Ensamble del Proyecto/Construcción/Operación (IV)**



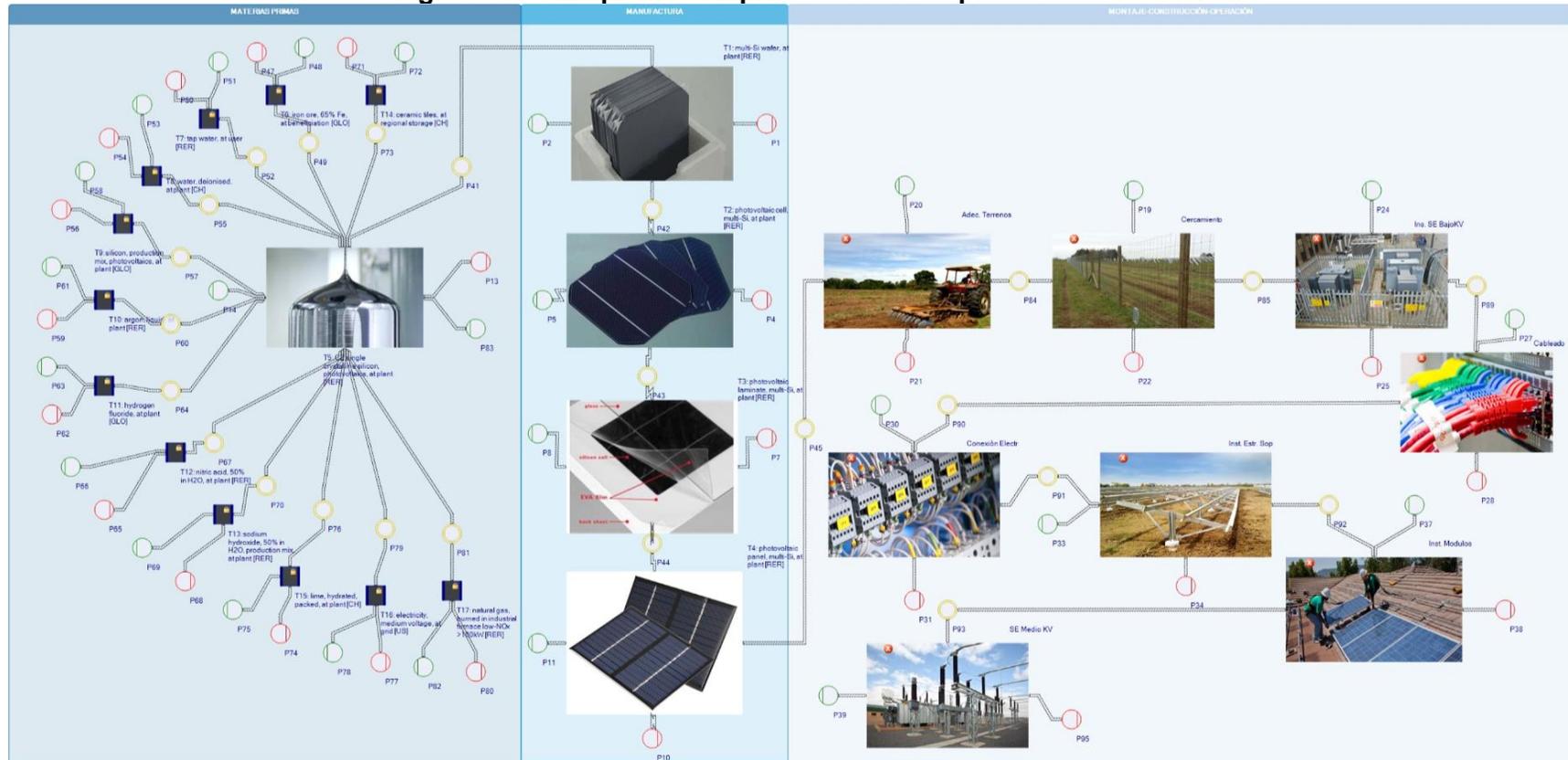
(G) Instalación y montaje de los paneles



(H) Instalación de SE a mediana Tensión

Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

Figura 5.1-9 Esquema completo del ACV de planta solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia – Software Umberto NTX-Ecoinvent 2.2

## 5.2 Resultados ACV Planta Solar

El análisis de ciclo de vida se compone a su vez de varias sub-metodologías que, mediante el uso del software, se enfocan en categorías de impacto específicas. Para analizar el contraste del número de categorías, según el método ACV seleccionado, se mostrará en la Tabla 5.2-2 el resultado numérico de cada categoría y su tipo de impacto y en la siguiente Tabla 5.2-2 se mostrará la diferencia fundamental entre los tipos de metodologías ACV analizadas.

**Tabla 5.2-1 Clasificación de las metodologías ACV analizadas en Umberto NTX LCA**

<b>Método ACV</b>	<b>Descripción</b>
CML 2001	Este método creado por la Universidad de Leiden en los Países Bajos en 2001 contiene más de 1700 diferentes flujos que se pueden descargar desde su sitio web. Los indicadores baseline (estándar) están basados en el principio de la mejor práctica disponible y son indicadores de categoría al nivel de los resultados (aproximación orientada al problema)
Ecological scarcity 1997	El Método de Escasez Ecológica calcula los impactos ambientales como emisiones contaminantes y consumo de recursos mediante la aplicación de "eco-factores". Estos eco-factores son diferentes dependiendo de la sustancia y se derivan de la ley ambiental u objetivos políticos. Cuanto más alto sea el nivel de las emisiones o el consumo de recursos supera el objetivo de protección ambiental fijado, mayor será el eco-factor, expresado en eco-puntos (EP).
Cumulative energy demand	El objetivo del método es cuantificar el uso de energía primaria a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio. El método incluye los usos directos e indirectos de la energía, pero no los residuos utilizados para fines energéticos
ReCiPe Midpoint	El objetivo principal del método ReCiPe es proporcionar un método que combine Eco-Indicator 99 y CML, en una versión actualizada.
Eco-indicator 99	El eco-indicador 99 es probablemente uno de los métodos de evaluación de impacto más utilizados en la ACV. Ha reemplazado al Eco-indicador 95, el primer método de evaluación de puntos finales. Permite la expresión del impacto ambiental en una sola puntuación. Este método analiza tres tipos diferentes de daños: salud humana, calidad del ecosistema y recursos

Fuente: Elaboración propia a partir de (Acero, Rodríguez, & Ciroth, 2015)

En la Tabla 5.2-2 se podrá apreciar aquellos valores arrojados de acuerdo al tipo de método de evaluación ambiental de Análisis de Ciclo de vida, y aquellos impactos que generaron valores apreciables según la base de datos Ecoinvent y los datos complementarios de las fuentes (Desideri et al., 2012), (Pehnt, 2006) y (Zhang, 2011). Más Adelante en la sección {7.3} se planteará el análisis de los impactos en términos de acumulación y sinergia.

**Tabla 5.2-2 Resultado de los aspectos e impactos que arroja el análisis de ciclo de vida**

Método ACV	Aspecto	Impacto	Unidad
CML 2001	Acidification potential w/o LT, generic w/o LT	8,18E-05	kg SO2-Eq
	climate change w/o LT, GWP 100a w/o LT	3.610.880.003,59	kg CO2-Eq
	freshwater aquatic ecotoxicity w/o LT, FAETP 100a w/o LT	2,16E-04	kg 1,4-DCB-Eq
	freshwater sediment ecotoxicity w/o LT, FSETP 100a w/o LT	4,82E-04	kg 1,4-DCB-Eq
	human toxicity w/o LT, HTP 100a w/o LT	2,56E-03	kg 1,4-DCB-Eq
	land use w/o LT, competition w/o LT	8.158.080.010,74	m2a
	resources w/o LT, depletion of abiotic resources w/o LT	2.250.373.422.970,62	kg antimony-Eq
	terrestrial ecotoxicity w/o LT, TAETP 100a w/o LT	1,48E-06	kg 1,4-DCB-Eq
Ecological scarcity 1997	total, deposited waste	129.024.000.000.000,00	UBP
	total, emission into air	722.176.000.723,60	UBP
	total, emission into top-soil/groundwater	8,57E-03	UBP
	total, emission into water	0,04	UBP
	total, use of energy resources	2.345.599.873.204,76	UBP
Cumulative energy demand	fossil, non-renewable energy resources, fossil	2.322.076.513.125,98	MJ-Eq
	primary forest, non-renewable energy resources, primary forest	84.000.000,00	MJ-Eq
	water, renewable energy resources, potential (in barrage water), converted	23.523.360.078,73	MJ-Eq
	minerals, non-renewable material resources, minerals	2.346.189.644,38	MJ-Eq
ReCiPe Midpoint (H) w/o LT	agricultural land occupation w/o LT, ALOP w/o LT	5.240.480.007,16	m2a
	climate change w/o LT, GWP100 w/o LT	3.610.880.003,59	kg CO2-Eq
	freshwater ecotoxicity w/o LT, FETPinf w/o LT	2,52E-05	kg 1,4-DCB-Eq
	human toxicity w/o LT, HTPinf w/o LT	7,65E-04	kg 1,4-DCB-Eq
	ionising radiation w/o LT, IRP_HE w/o LT	1,65E-04	kg U235-Eq
	marine ecotoxicity w/o LT, METPinf w/o LT	9,85E-06	kg 1,4-DCB-Eq
	marine eutrophication w/o LT, MEP w/o LT	9,24E-06	kg N-Eq
	metal depletion w/o LT, MDP w/o LT	1,23E-04	kg Fe-Eq
	ozone depletion w/o LT, ODPinf w/o LT	4,83E-10	kg CFC-11-Eq
photochemical oxidant formation w/o LT, POFP w/o LT	3,11E-05	kg NMVOC	
Eco-indicator 99, (E,E)	ecosystem quality, acidification & eutrophication	2,00E-05	points
	ecosystem quality, land occupation	824.342.167,40	points
	resources, fossil fuels	5.656.698.775,09	points
	resources, mineral extraction	2,38E-06	points

Fuente: Elaboración propia a partir de ACV Umberto NTX.

## **5.3 Análisis de la evaluación ambiental en términos de acumulación y sinergia**

### **A. Identificación de los aspectos ambientales evaluados en el ACV**

Desde la mirada del análisis de ciclo de vida, se tienen numerosas categorías de impacto que se agrupan bajo los componentes básicos de evaluación [físico, biótico, y socioeconómico]; Incluso, las variables que se analizan dentro de estos componentes, son más específicas y prácticas a la hora de medirse que en las metodologías de evaluación ambiental convencionales. Esto se da, por el sistema de indicadores con el cual se complementa el análisis; sin embargo, este método en sí mismo, plantea muchos vacíos e interrogantes en cuanto a su aplicabilidad en ecosistemas diferentes donde el valor, costo y cantidad de los recursos varía, no solo por el tipo de localización geográfica, sino por el tipo de tecnología utilizada para los procesos industriales.

### **B. Identificación de Impactos Acumulativos en el ACV**

A este punto, en la manera en que están definidas las categorías de evaluación dentro de un análisis de ciclo de vida, tales como “Emisiones totales al agua”, “Emisiones totales en Aire”, y así con la mayoría de aspectos analizados por el software, por su proceso de cálculo multi-etapas, podrían entenderse estos valores finales como impactos producto de acumulación en sí mismos. Esto explicaría el porqué de valores tan altos en la tabla de resultados Tabla 5.2-2, en la que por diferentes metodologías ACV, y con impactos de la misma naturaleza (Agua, Aire, Suelo, toxicidad) expresada con diferentes unidades, se presentan valores realmente alarmantes para un proyecto de tipo energía limpia/Renovable.

En este sentido, la expresión cuantitativa de un impacto bajo la mirada del ACV está entonces evidenciando en sí mismo, un impacto de tipo acumulativo, pues cuantifica procesos globales, divididas en etapas que han sido documentada bajo procesos reales de fabricación de paneles solares. Además, el conteo final de recursos demandados en cualquier proceso, obedece a una operación de suma que proporciona un balance final; en este sentido, es fácil equivocarse la cifra real de un recurso que se utiliza en varias etapas de un proceso, a un recurso que genera un impacto acumulado.

Este término de acumulación, presenta una limitación importante de considerar, la cual corresponde a un sobredimensionamiento de las cantidades exactas utilizadas en los procesos productivos y montaje de proyectos, dada la diferencia regional de las materias primas usadas para el análisis y la tecnología involucrada en el proceso, que se sabe, son factores fundamentales a la hora de definir la eficiencia de un recurso específico.

### **C. Identificación de Impactos Sinérgicos en el ACV**

La sinergia en los impactos, como resultado de un análisis de ciclo de vida, se evidencia de manera preliminar a la corrida de un modelo ACV, en la forma en como están descritos los indicadores de evaluación, relacionando variables aparentemente indirectas. Un ejemplo de ello, se puede ver en la

Tabla 5.2-2, en la sub-metodología ReCiPe (Punto Medio/H), que, según la Tabla 5.2-1 corresponde a un tipo de análisis enfocado a *disponibilidad de recursos, daño a la salud humana y daño a ecosistemas*, tiene un impacto que específico para el *Agotamiento de la capa de ozono*. Esto muestra que al igual que en la metodología matricial, tampoco la metodología del Análisis de ciclo de vida, explicita los impactos de tipo sinérgico, sino que algunos de ellos, aparecen de manera implícita en los resultados y no tienen más trasfondo ni en el análisis, ni en las estrategias de monitoreo y seguimiento.

En conclusión, se presentó la identificación de los impactos ambientales en general, que, mediante el análisis de ciclo de vida, se pueden identificar fácilmente agregando procesos y actividades al ciclo, siendo estos resultados en su mayoría, de tipo toxicológico de recursos naturales. Sin embargo, la acumulación y la sinergia, no se identifican y contabilizan claramente, dado que se requiere conocer si estos están doblemente contabilizados en las etapas del ciclo. Además, la sinergia queda sin identificarse mediante esta metodología.

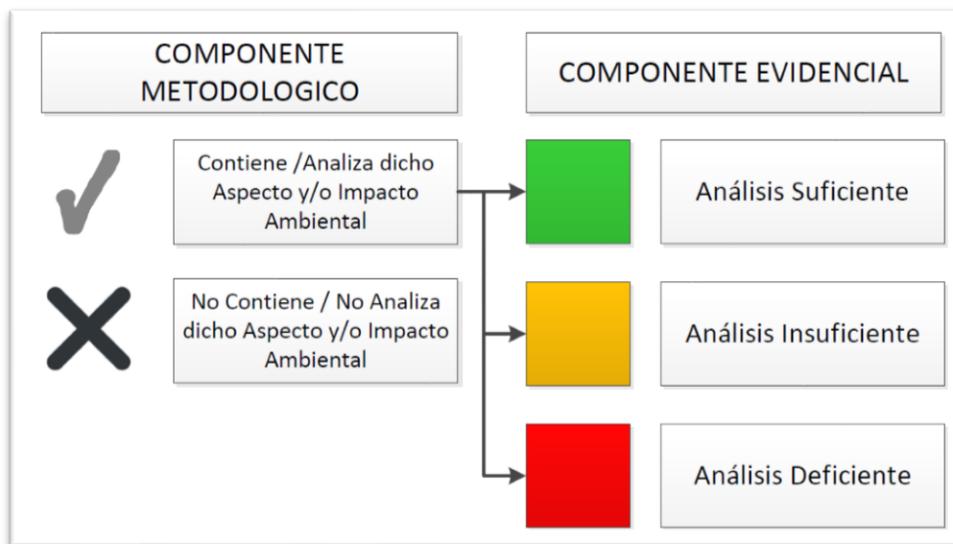
Una vez analizado este tema, se procede a enunciar en detalle, aquellos elementos ambientales faltantes a cada una de las metodologías en análisis, en el próximo capítulo 6: esto nos permitirá llegar a establecer aquellos componentes ambientales analizados de manera suficiente, insuficiente o deficiente, y determinar unos lineamientos generales que complementen dichas metodologías, para el análisis de la acumulación y la sinergia de impactos ambientales en proyectos fotovoltaicos.

## 6. Elementos de Análisis Ambiental faltantes a cada metodología

En capítulos anteriores, se analizó al detalle la evaluación de dos tipos de metodologías matriciales, el sistema Envision y MIIA; y para análisis de ciclo de vida, se contrastaron los resultados de 5 sub-metodologías de ACV para el mismo modelo, en Umberto NTX LCA. En el caso de los resultados matriciales, obedecieron a un proceso de comparación de dos estudios realizados a manera de EIA para la planta solar fotovoltaica Choluteca I y II; para el caso del método ACV, se elaboró un modelo de ciclo de vida completo de 3 etapas para una planta solar fotovoltaica, utilizando el número de paneles, dimensiones de los paneles, área y energía generada por Choluteca I y II para analizar los resultados. Estos datos fueron alimentados por las bases de datos de Ecoinvent y otros estudios realizados, para tener el análisis lo más completo posible según la información secundaria disponible para el modelo.

En el presente capítulo, con el fin de ahondar detalles de cada metodología anteriormente descritas, se seguirá la señalización de la Figura 5.3-1 para realizar una comparación de los impactos ambientales que se logran identificar y evaluar según cada metodología.

**Figura 5.3-1 Sistema de calificación de los métodos de Evaluación Ambiental**



Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema Envision, se encontraron en total 2 impactos ambientales que evaluaron de manera suficiente, 3 impactos de manera insuficiente y 2 de manera deficiente. Los aspectos a complementar que pueden incorporarse en este sistema de evaluación ambiental, están relacionados con la información no contemplada en los análisis, tales como los impactos acumulativos y sinérgicos

relacionados con el deterioro o pérdida de paisaje, minerales y recursos fósiles, macro ecosistemas y reservas, espacialización biofísica, arqueología, componente geoesférico<sup>5</sup>, y cercanía o cruce con licencias de otros proyectos de infraestructura.

En contraste, el método MIIA, se encontró solo un impacto analizado de manera Suficiente. Éste, relacionado al impacto con el cambio del uso del suelo y el deterioro fisicoquímico del suelo por la remoción de cobertura vegetal y adecuación para instalación de soportes. El método MIIA presentó 7 impactos analizados de manera insuficiente, pues no deja claridad sobre la intensidad de los mismos y las estrategias utilizadas para la mitigación o compensación de los mismos.

El tipo de impactos que no contiene el estudio, y que la metodología matricial está en capacidad de abarcar, están relacionados con el componente geoesférico, la arqueología, cruce con licencias o proyectos y cálculos que permitan saber la energía necesaria para los procesos, los minerales y productos fósiles y la contaminación en términos de ecotoxicidad que estos ocasionan.

Los resultados del sistema de equivalencias y falencias metodológicas, evidenció gran similitud entre las metodologías *CML*, *Ecological Scarcity* y *ReCiPe*, por cuanto comparten la evaluación en la misma clase de impactos. De igual manera para las dos restantes *cumulative energy demand* y *Eco-indicador 99*, que también presentan similitudes entre si. Estos grupos, pertenecientes a la metodología de Análisis de Ciclo de vida, muestran un énfasis especial en la evaluación de impactos a micro variables (en su mayoría contaminación) de los recursos, agua, suelo y aire. En común, también podemos decir, que el ACV no incluye categorías de impactos relacionados con el medio socioeconómico, tales como presencia de comunidades étnicas, hallazgos arqueológicos o cuantificación en la magnitud de daños al paisaje. El Cálculo de la energía utilizada, a todas las escalas y etapas del proyecto, es una fortaleza bien marcada de este tipo de metodología, pues claramente identifica que tipo de fuentes fósiles utiliza para los diferentes procesos. Cabe también resaltar, que comparte las mismas falencias que la metodología matricial, por cuanto no involucra otros análisis fundamentales para la toma de decisiones en el emplazamiento de este tipo de proyectos.

Como parte de anexos, se presenta un análisis espacial, representado en 10 mapas con algunas de las categorías de impacto, identificadas como falencias a ambas metodologías, y cuya información de entrada (archivos tipo Shp.) se encontró libre en las páginas oficiales del Gobierno de Honduras. Esto es de vital importancia para los estudios, en los cuales se notó la carencia de esta información, dado que en ambos estudios ambientales (MIIA y Envision) no se mencionaron las categorías ambientales que se pueden visualizar en los siguientes 10 mapas y que tampoco fueron mencionadas en ninguno de los dos estudios matriciales realizados para las plantas de Choluteca I y II. En la Sección de Anexos, se podrán apreciar los siguientes Mapas:

---

<sup>5</sup> El componente Geoesférico está compuesto por el análisis en geología, geomorfología y geotecnia.

- 1) Infraestructura Vial, Infraestructura de Vivienda y Sistema de Pendientes de la Municipalidad de Choluteca, sitio donde se presentan las plantas solares Choluteca I y II.
- 2) Cuencas Hidrográficas, Red Hidrográfica, Cuerpos de Agua y Sitios de Riesgo a nivel País.
- 3) Quebradas, Ríos y otros cuerpos de agua, cerca de las plantas solares Choluteca I y II.
- 4) Unidades litológicas (geología) y susceptibilidad a incendios en sitio donde se presentan las plantas solares Choluteca I y II.
- 5) Clasificación de los usos de suelos a nivel país.
- 6) Clasificación hidrogeológica de acuíferos subterráneos a nivel país.
- 7) Clasificación de las coberturas Vegetales a nivel país.
- 8) Áreas protegidas (2008) y Microcuencas protegidas (2011)
- 9) Clasificación de prospectiva forestal a nivel país.
- 10) Sitios arqueológicos, Redes de distribución eléctrica y Subestaciones cerca de las plantas solares Choluteca I y II.

Para finalizar, es necesario recalcar que la falencia más notoria en ambas metodologías estudiadas, se presenta en la *no definición* concreta de la acumulación y la sinergia de los impactos que evalúan, siendo este tipo de impactos, fundamentales para un análisis ambiental completo, en términos del entorno donde éste se desarrolla y las interacciones que se generan con la existencia de otros proyectos, grupos de interés y sociedad en general. Los resultados de la presente comparación, podrán apreciarse en la Figura 5.3-2.

A continuación, se presenta el capítulo 7, lo que, según los análisis presentados en los capítulos anteriores, se propone como unos lineamientos generales, derrotero o acercamiento al proceso de identificación y evaluación ambiental de impactos acumulativos y sinérgicos, en plantas solares fotovoltaicas.



## 7. Lineamientos de Identificación y Evaluación de Impactos

El 15 de agosto de 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible expidió, bajo la resolución 1670 los términos de referencia [TDR15] (ANLA, 2017) en donde se enumeran los requerimientos para la presentación de Estudio de Impacto Ambiental para proyectos fotovoltaicos, en donde como se cita a continuación, especifica que lo ideal para este tipo de proyectos es la combinación de análisis y tomar referentes internacionales para aquellos parámetros de los que no se tenga regulación:

“La metodología utilizada debe facilitar un análisis integrado, global, sistemático y multidisciplinario, y la evaluación de impactos debe incluir una discusión sobre las relaciones causales. Los criterios a considerar para la evaluación cuantitativa y cualitativa pueden ser, entre otros: carácter, cobertura, magnitud, duración, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, tendencia, tipo y posibilidad de ocurrencia. Para valorar y jerarquizar los impactos, se deben tomar como referencia, según aplique, el riesgo de la construcción y operación del proyecto sobre los diferentes medios y los límites permisibles de los contaminantes definidos en la legislación ambiental; en caso de que no exista regulación nacional para algún parámetro, se debe emplear como referencia legislación internacional”(ANLA, 2017).

En estas consideraciones, es importante notar que sigue faltando la debida atención a los efectos de los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos. Por lo tanto, para suplir aquellas necesidades evidentes de análisis, propias de los métodos tradicionales de evaluación ambiental, se presenta como sugerencia, los siguientes lineamientos para identificación y evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos en proyectos fotovoltaicos, en la Figura 5.3-1.

En ésta, se puede observar que el proceso comienza con una caracterización, que permite establecer la línea base del estado de los recursos naturales y el entorno con un escenario previo a la construcción

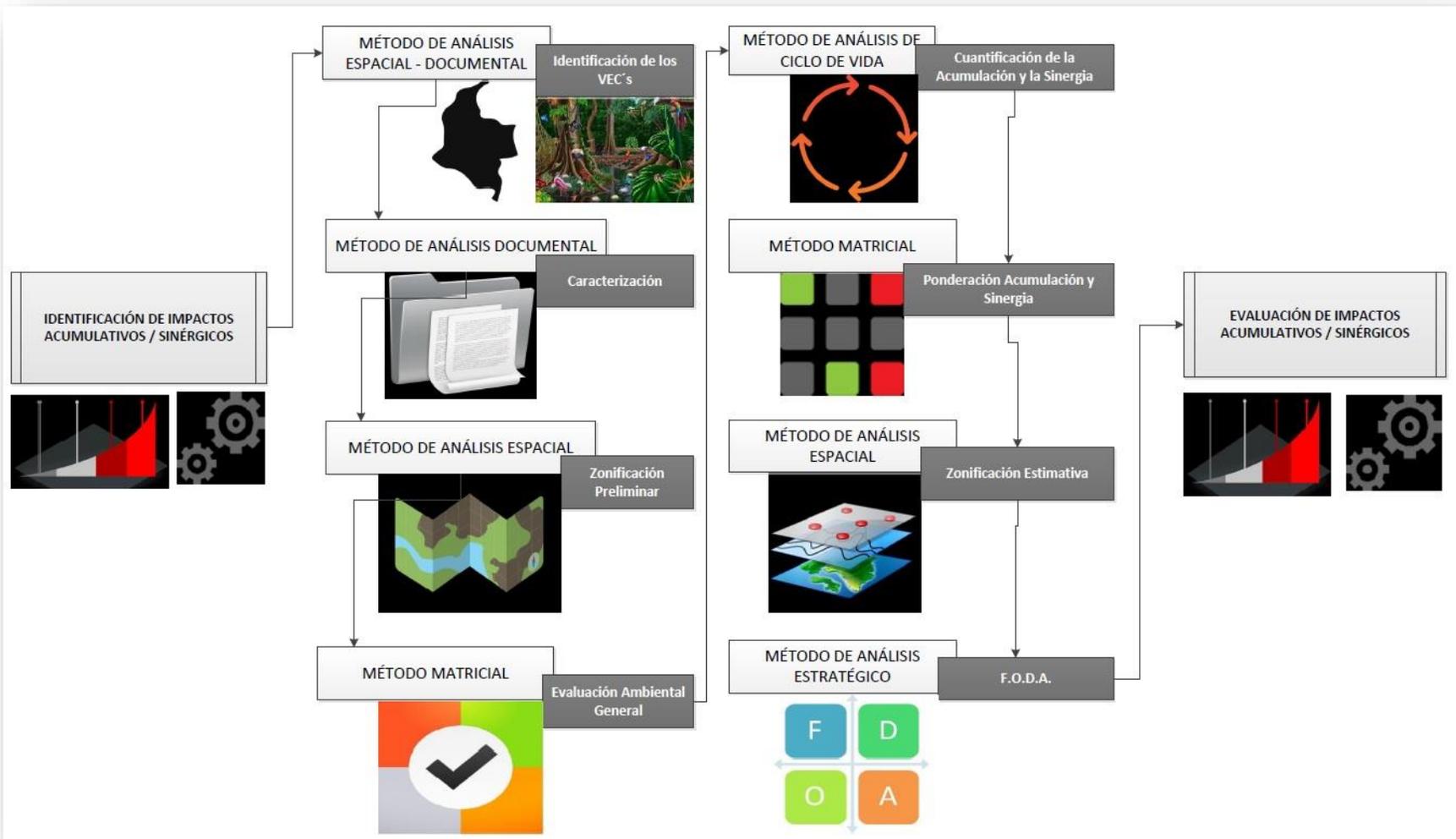
del proyecto. Esto en la mayoría de las ocasiones se realiza mediante el análisis de documentos oficiales, información secundaria disponible e información primaria (recolectada en campo). Luego de la caracterización, sigue un paso con ayuda de sistemas de información geográfica que consiste en un método de análisis espacial, llamado zonificación; ésta sería entonces una zonificación preliminar con el fin de identificar aquellos elementos fisiográficos susceptibles de recibir impacto por el proyecto. En el proceso normal, después de una comúnmente llamada “zonificación Ambiental”, se procede a la evaluación ambiental por el método matricial, donde se consideran muchos criterios, entre ellos el de acumulación y sinergia, en el mejor de los casos. Esto concluiría en poder identificar estos dos tipos de impacto.

El proceso de una evaluación puntual de acumulación o sinergia en impactos ambientales, puede verificarse de acuerdo a la información consignada en la caracterización y a través de las herramientas SIG (sistemas de información geográfica), con el fin de ajustar las ponderaciones o calificación otorgada para la misma. Una vez identificados aquellos impactos acumulativos y sinérgicos, se contrastarían con un análisis de ciclo de vida del proyecto, en donde puedan concretarse aquellas cantidades de materiales, energía y recursos en cada etapa del proyecto. Esto sería además útil, para cuando la autoridad solicita un análisis de demanda de recursos naturales.

Una vez finalizado el ACV, se reitera un método matricial, que consiste en una evaluación ambiental específica, cuyo enfoque está centrado únicamente en los impactos acumulativos y sinérgicos que hayan resultado después del estudio de estas metodologías combinadas.

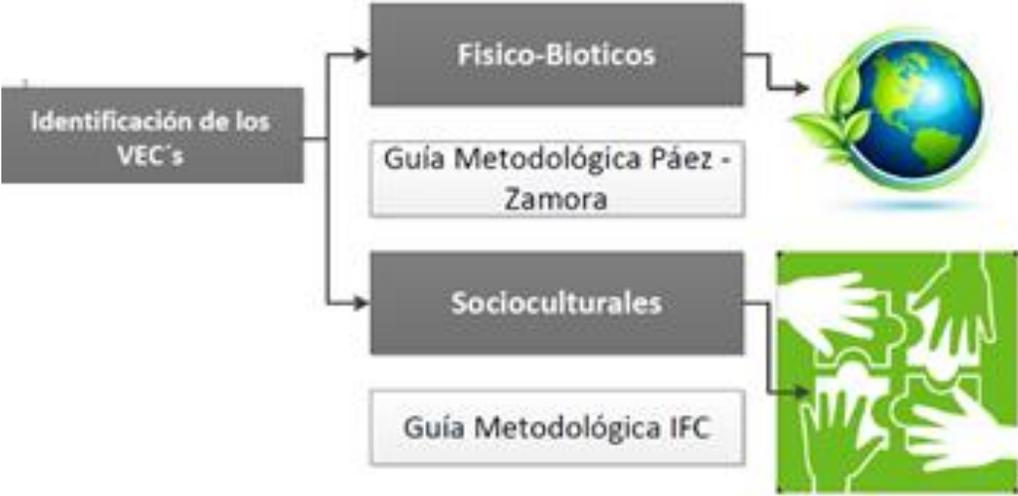
Para finalizar, se plantea la elaboración de una zonificación estimativa, que corresponde como en el primer caso, a un método de análisis espacial, solo que esta vez, permite analizar el cambio esperado en el ambiente, producto de dichos impactos y su severidad con respecto a la zonificación preliminar. De esta manera, estaría concluida la evaluación de los impactos acumulativos y sinérgicos. En la se presenta la explicación detallada de los procesos incluidos en la Figura 5.3-1.

Figura 5.3-1 Lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos

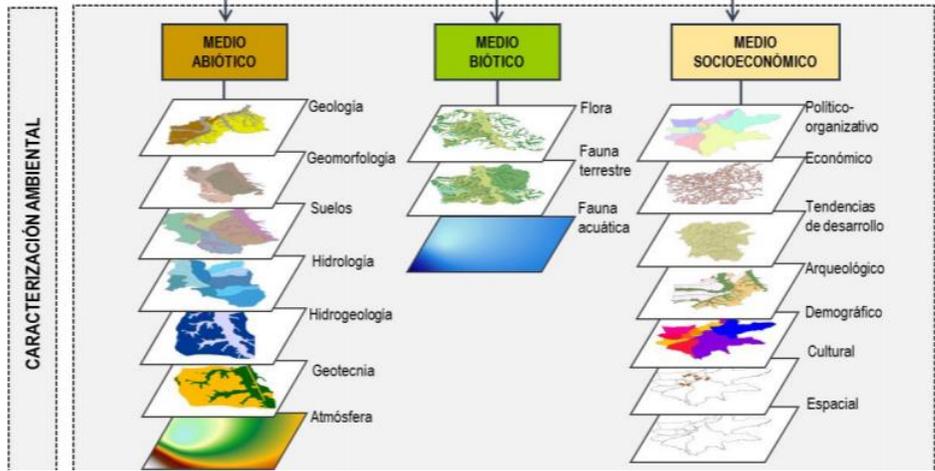


Fuente: Elaboración propia

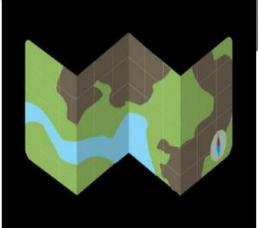
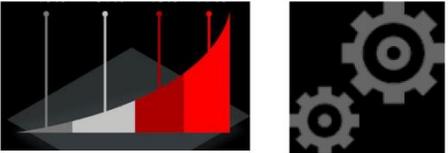
**Tabla 5.3-1 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –VEC's**

Fase del Proceso	Descripción
<p data-bbox="197 634 443 688">MÉTODO DE ANÁLISIS ESPACIAL - DOCUMENTAL</p> <p data-bbox="470 662 659 711">Identificación de los VEC's</p> 	<p data-bbox="716 358 1936 737">Como se pudo observar en el capítulo de revisión de literatura, se mencionó tanto la metodología de Páez-Zamora, como la Guía IFC para la evaluación del impacto social. De ambas Guías, se sugiere que se sigan aquellos listados de VEC's, (Componentes Valiosos del Ecosistema) tanto de información al interior de los documentos de ordenamiento territorial, y manejo de cuencas hidrográficas, como el tema social (contemplado en cada etapa de un proyecto). En el siguiente esquema se muestra que debe complementarse ambos aspectos en la identificación de componentes valiosos del ecosistema, tanto criterios fisiográficos como socioculturales.</p> 

**Tabla 5.3-2 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Caracterización**

Fase del Proceso	Descripción
<div data-bbox="157 673 672 1023"> <p>MÉTODO DE ANÁLISIS DOCUMENTAL</p>  <p>Caracterización</p> </div>	<p>Esta caracterización, obedece a la descripción detallada de varias variables presentes en el medio donde se emplazarán los proyectos y obedecerán entonces a las que la autoridad ambiental competente señale. Para el caso colombiano, según la resolución 1670 de 2017, los términos de referencia para elaboración de estudios ambientales en proyectos fotovoltaicos, requiere el estudio tradicional de información primaria y secundaria para las variables que se muestran en el siguiente esquema de (ANLA, 2017). En esta etapa, se sugiere hacer un análisis o sondeo específico sobre si el proyecto está en zonas o afectando VEC's; es importante vislumbrar desde etapas tempranas, aquellos VEC's para enfocar la caracterización y prestar mayor atención en la próxima etapa de evaluación.</p> <div data-bbox="871 795 1806 1364"> <p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE LAS IMPLICACIONES AMBIENTALES PARA CADA COMPONENTE</p>  </div>

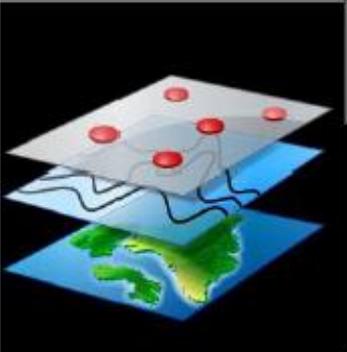
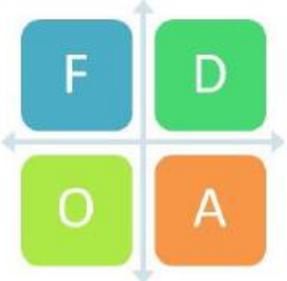
**Tabla 5.3-3 Fase de Identificación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Zonificación Ambiental**

Fase del Proceso	Descripción
<div data-bbox="197 347 663 651"> <p>MÉTODO DE ANÁLISIS ESPACIAL</p>  <p>Zonificación Preliminar</p> </div>	<p>En esta etapa se plantea el ejercicio de una zonificación preliminar en donde, según la información recolecta en etapa de caracterización, se muestra como la(s) zona(s) más grave(s) en cuanto a las posibles afectaciones al medio ambiente. Esto permitirá tener un panorama intuitivo antes de la evaluación ambiental y permitirá que se tenga menos sesgo en la evaluación matricial, pues ya el equipo evaluador, ha logrado pre-visualizar la zona de los efectos y la magnitud de los mismos.</p>
<div data-bbox="197 716 653 1013"> <p>MÉTODO MATRICIAL</p>  <p>Evaluación Ambiental General</p> </div>	<p>Esta evaluación matricial corresponderá al método que haya seleccionado el equipo evaluador (Leopold, Conesa-Fernández, Arboleda, etc). Son variadas las matrices que se tienen como plantilla para efectuar el análisis, sin embargo, debe garantizarse siempre una buena definición de conceptos y ponderaciones que permita llegar a análisis concluyentes.</p>
<div data-bbox="197 1084 653 1328"> <p>IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS ACUMULATIVOS / SINÉRGICOS</p>  </div>	<p>Una vez finalizados los cuatro incisos anteriores, puede determinarse que se han identificado los impactos ambientales de un proyecto. Sin embargo, solo a alguno de ellos, se les ha considerado de tipo acumulativo o sinérgico en un análisis tradicional. Bajo estos lineamientos, se propone continuar con un análisis separado y posterior al proceso de evaluación ambiental, solamente para aquellos impactos acumulativos y sinérgicos. Esto con el fin de caracterizar dicha acumulación y sinergia, y plantear unas medidas de manejo acordes con los hallazgos.</p>

**Tabla 5.3-4 Fase de Evaluación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –ACV**

Fase del Proceso	Descripción
<div data-bbox="163 451 989 836"> </div>	<p>Como parte del análisis separado y posterior al proceso de evaluación ambiental, se propone tener en cuenta las herramientas que suministra la metodología del Análisis de ciclo de vida, con el fin de nutrir con datos más realistas, los capítulos de demanda de recursos naturales que establecen la mayoría de los términos de referencia para proyectos de desarrollo. En este punto, es necesario entender y desarrollar unas equivalencias que permitan interpretar alguno de los impactos, propiamente los acumulativos, mediante el análisis de ciclo de vida, de manera que no se presenten duplicación de los efectos por una doble contabilidad de los mismos. De manera similar, para que las medidas de mitigación, compensación y manejo sean acordes a la realidad de cada proyecto.</p>
<div data-bbox="226 954 921 1315"> </div>	<p>Como se presentan en las siguientes tablas, se proponen la estructura para clasificación de los impactos sinérgicos y acumulativos con respecto a los impactos identificados en la etapa de evaluación matricial y que son enfrentados según la interacción con proyectos circundantes.</p>

**Tabla 5.3-5 Fase de Evaluación de Impactos Acumulativos y Sinérgicos –Ponderación**

Fase del Proceso	Descripción
<div data-bbox="195 464 720 586" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>MÉTODO DE ANÁLISIS ESPACIAL</b></p> </div>  <div data-bbox="636 591 999 716" style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Zonificación Estimativa</b></p> </div>	<p>Esta zonificación estimativa, se propone con el fin de determinar el rango de acción y la posible jurisdicción de los agentes responsables y participantes en los impactos acumulativos y sinérgicos. Esta zonificación, aparte de identificar las autoridades ambientales en ejercicio en el área del proyecto, identificará geográficamente más fácil la extensión del efecto de dichos impactos. una vez entendido este panorama, se plantearán medidas de manejo acordes a las responsabilidades adquiridas y afectaciones al medio ambiente.</p>
<div data-bbox="195 967 611 1062" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>MÉTODO DE ANÁLISIS ESTRATÉGICO</b></p> </div>  <div data-bbox="579 997 978 1094" style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>F.O.D.A.</b></p> </div>	<p>Finalmente, la etapa culmen del análisis de impactos acumulativos y sinérgicos, se plantea con un conocido análisis D.O.F.A., Esto, dado que los impactos por acumulación y sinergia en proyectos fotovoltaicos pueden ser positivos y representar situaciones de continua mejora para el área de influencia de un proyecto. Este análisis incorpora entonces, las Dificultades, Facilidades, Oportunidades y Amenazas que estos impactos representen a diferentes etapas de un proyecto.</p>

A continuación, se describen las categorías de calificación que, bajo el método matricial, se sugirieron para facilitar la distribución de la ponderación en el estudio de la acumulación y sinergia. Las Tabla 5.3-6, Tabla 5.3-7, y **Tabla 5.3-8**, corresponden a especificaciones sobre el tipo de proyectos que, denominados “X, Y, Z y W” representarán aquellos proyectos cercanos al proyecto en estudio, y que su peso en ponderación determinará la magnitud de la acumulación y la sinergia.

**Tabla 5.3-6 Proximidad del Impacto Identificado con el proyecto (X-Y-Z-W)**

Proximidad		
1	All	Área de Influencia Indirecta
2	AID	Área de influencia Directa
3	AE	Área de Estudio
4	FAE	Fuera del Área de Estudio

**Tabla 5.3-7 Tipología del Proyecto (X-Y-Z-W)**

Tipología de Proyectos	
1	Lineal
2	Concentrado

**Tabla 5.3-8 Temporalidad del Impacto por el tipo de proyecto (X-Y-Z-W)**

Temporalidad	
1	Pasado
2	Actual
3	Futuro Cercano

Por otro lado, se presentan en las **Tabla 5.3-9** y **Tabla 5.3-10** las categorías en que se dividieron cada una de los componentes evaluativos, y que dan cuenta de la variedad y complejidad de los mismos. Para la sinergia se tienen 4 términos que describen distintas maneras en que se expresa la sinergia en un impacto; estas son {1} Cascada, {2} Evolutivo, {3} Divergente y {4} Cíclico. En caso de que, en el proyecto en estudio, se dé un tipo de impacto que no cumpla cualquiera de estas cuatro características, deberá incluirse una nueva y recalcular la ponderación y definir el concepto, de manera que se aclare mediante qué criterios se presenta la sinergia.

**Tabla 5.3-9 Categorías de Clasificación de la Sinergia para Impactos Identificados**

1	Cascada
2	Evolutivo
3	Divergente
4	Cíclico

Para el caso de la Acumulación, se tomaron como guías, los tipos de impactos acumulativos, definidos por (ANLA, 2014), que corresponden a ocho términos enfocados en los efectos apreciables del impacto.

**Tabla 5.3-10 Categorías de Clasificación de la Acumulación para Impactos Identificados**

1	Aglomeración en el tiempo
2	Disminución en el tiempo
3	Aglomeración Espacial
4	Transfronterizo
5	Fragmentación
6	Efectos Compuestos
7	Efectos Indirectos
8	Desencadenantes

Por último, se presenta en la Tabla 5.3-11, un esquema preliminar de una matriz simple de interacciones entre los impactos identificados como acumulativos [A- E] y sinérgicos [F- J] en contraste a los proyectos [X-W] presentes en el análisis. Las casillas estarían integradas entonces por aquellos valores resultantes, producto de la asignación de ponderación a las categorías pasadas y presentadas en las pasadas tablas. Si bien el esquema matricial no es determinante, si lo es, el que se pueda identificar la fuente (origen) y destino del efecto de un impacto acumulativo y sinérgico. Esto, para que cuando se establezcan las medidas de manejo y estrategias de monitoreo y seguimiento, pueda establecerse un control real sobre los impactos acumulativos y sinérgicos.

**Tabla 5.3-11 Matriz de interacción Simple (MIS) para Acumulación y Sinergia.**

PROYECTO EN ESTUDIO										
Tipo de impacto	Impactos Acumulativos					Impactos Sinérgicos				
Interacciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Proyecto X										
Proyecto Y										
Proyecto Z										
Proyecto W										

Una vez presentado este paso a paso, con elementos y esquemas para llevar a cabo un análisis de impactos acumulativos y sinérgicos para proyectos fotovoltaicos, desde la identificación hasta la evaluación, se procede a presentar en el siguiente capítulo 8 a manera de cierre, las conclusiones del presente estudio.

## 8. Conclusiones

### 8.1 Conclusiones del Trabajo Final

#### 8.1.1 Evaluación al sistema metodológico matricial – Envision y MIIA

- i. En la sección 4.1 se pudo apreciar mediante el análisis documental, que una de las ventajas del sistema de evaluación de Envision, es que provee al estudio ambiental, el factor <credibilidad> de un sistema de calificación externo al ente ejecutor del proyecto. Esto a su vez, proporciona más confiabilidad a los hallazgos en términos de objetividad.
- ii. De manera similar, en la sección 4.2.1 se encontró que una de las falencias del sistema Envision como método de evaluación matricial, radica en la falta de niveles de cumplimiento que indiquen una categoría de “*no-cumplimiento*”, es decir, si bien existe una ponderación que explica si se tiene un valor adecuado para una categoría específica, lingüísticamente hablando, el sistema de calificación de Envision siempre dará una *visión positiva* de la problemática del proyecto, minimizando posiblemente la percepción del evaluador sobre el grado de importancia de los indicadores en análisis, y por ende de los impactos ambientales que deben mitigarse.
- iii. En la sección 4.3 se mostró que las investigaciones y caracterizaciones demográficas permiten identificar las poblaciones vulnerables en el área y formular verdaderas iniciativas para abordar algunas de las necesidades que estos grupos enfrentan mediante la inclusión. Sin embargo, poco se evidenció por parte del ejecutor del proyecto, en cuanto al registro del manejo de comunidades e identificación de impactos ambientales desde la perspectiva social -*Acumulativa y Sinérgica*.
- iv. En este orden de ideas, la trazabilidad en los impactos identificados, tanto negativos como positivos, mediante el sistema Envision y Matricial MIIA, permitió no solamente descifrar su origen, sino cuantificar el grado de peligrosidad en términos de acumulación y sinergia.
- v. En la evaluación del EIA se identificó claramente que se menciona que “como parte del proyecto, se hará una renovación y expansión de la subestación y la conexión de estas infraestructuras eléctricas tendrá una duración para la comunidad más allá de la vida útil del proyecto” (SunEdison-Hardvard et al., 2016); esto denota un punto clave en que, el estudio de impacto ambiental no considera o explicita de manera pertinente los aspectos e impactos propios de la ampliación de la subestación y las líneas de transmisión asociada a la conexión del emplazamiento solar.

- vi. En el componente de Asignación de recursos, del sistema Envision se sugiere realizar un ACV con el fin de determinar los impactos en relación a cantidad de materiales, agua y energía, dado que mediante el método matricial no es posible conocer esa calificación. Se concluye entonces, que otros evaluadores identificaron la misma falencia para el sistema matricial y que es necesario complementarlo con nociones de ACV; sin embargo, no acotan dicho alcance ni la forma de apropiación de las mediciones del mismo.
- vii. Se concluye de la metodología matricial, que variables como el paisaje son de vital importancia, dada la extensión del terreno. Los evaluadores de MIIA consideraron que el impacto al paisaje no es acumulativo. Sin embargo, consideran las categorías de paisajismo y suelo como impactos severos haciendo la sumatoria completa con todos los criterios de evaluación.
- viii. La evaluación ambiental realizada, se enfoca en tres escenarios, uno con proyecto, otro sin proyecto, y otro con proyecto sus medidas de manejo. Esto resulta ventajoso a la hora de sopesar las implicaciones desde todas las perspectivas. En conclusión, sería un análisis más eficiente si consideraran más variables ambientales a las listadas en ambos estudios, dada la complejidad del ecosistema y factores influyendo en el mismo.
- ix. En conclusión, todos los efectos de la acumulación y la sinergia deben tenerse en cuenta, tanto en la evaluación ambiental, como en la formulación de las medidas de monitoreo, manejo y seguimiento. Aquí está también la clave, sobre todo para cuando los impactos resultan ser positivos. Incluso pues la manera en cómo se explicitan estas actividades, permite tener mejor cuantificados la magnitud de estos impactos positivos y potenciar aquellos beneficios que los proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía le traen al sistema y comunidades en el área de influencia.
- x. Se concluye que las metodologías matriciales resultan ser análisis más rigurosos, robustos y puntuales a la particularidad del proyecto en estudio, pero no abarcan el panorama práctico y completo del ciclo de vida a nivel producto (paneles) y a nivel proyecto (planta).

### **8.1.2 Resultados Metodología ACV**

- I. En la sección 5.1, se logró observar, desde la mirada del análisis de ciclo de vida, que se tienen numerosas categorías de impacto que se agrupan bajo los componentes básicos de evaluación [físico, biótico, y socioeconómico]; Incluso, las variables que se analizan dentro de estos componentes, son más específicas y prácticas a la hora de medirse que en las metodologías de evaluación ambiental convencionales. Esto se da, por el sistema de indicadores con el cual se complementa el análisis; sin embargo, este método en sí mismo, plantea muchos vacíos e interrogantes en cuanto a su aplicabilidad en ecosistemas diferentes donde el valor, costo y

cantidad de los recursos varía, no solo por el tipo de localización geográfica, sino por el tipo de tecnología utilizada para los procesos industriales.

- II. Como las diferentes sub-metodologías contemplan una categoría de análisis específica, no es suficiente trabajar un ACV con una sola de estas sub-metodologías, sino que debe realizarse con una combinación de varias, cuidando de no sobredimensionar aquellos aspectos que sean evaluados en común.
- III. Para cargar los datos en el ACV, debe contarse con información real del proyecto a ejecutar, para evitar cargar datos pre-establecidos de las bases de datos, ya que éstas utilizan cifras de diferentes partes del mundo, bajo contextos similares, pero que denotan un grado de incertidumbre altísimo frente a la veracidad del análisis.
- IV. La metodología de Análisis de ciclo de vida es internacionalmente reconocida y aprobada para los estudios ambientales de proyectos, incluso más popular para aquellos, de tipo generación con fuentes no convencionales de energía – renovables.
- V. La metodología de análisis de ciclo de vida, debe tomarse siempre como un análisis de tipo parcial, debido a que, para realizar un estudio ambiental completo, se requiere del estudio de otras muchas variables y tipos de indicadores que no están aún preestablecidos en las bases de datos convencionales, y que, pese a que estas fuentes permanecen en constante actualización, no están del todo definidas a las necesidades de observación y tipología de proyectos.
- VI. Dado que ambas metodologías, dicen evaluar todas las etapas de proyecto, a ejemplo de este informe, en que en ninguna se contempló la etapa de cierre de la misma al final de la vida útil del proyecto, por lo tanto, es necesario que cualquier metodología que evalúe un proyecto incluya el tema del reciclaje de las estructuras y la optimización de los recursos.
- VII. Las metodologías deben usarse de manera completa, si se identifica un impacto, desarrollar la forma de monitorearlo, no solo dejarlo indicado sin seguimiento, sino plantear verdaderas estrategias y asignarlas a los entes responsables.

## 8.2 Cumplimiento de los Objetivos

- i. En las secciones 4 y 5 del documento, al realizar el análisis de ciclo de vida de la Planta Solar Fotovoltaica Choluteca I y II Honduras, a manera de análisis complementario y comparativo al método matricial utilizado en su *Estudio de Impacto Ambiental* de la planta, se dio cumplimiento parcial al objetivo específico 1.
- ii. En la sección 6 del documento, al Comparar los impactos y aspectos ambientales en ambas metodologías, para el proyecto, se dio cumplimiento al objetivo específico 2.

- iii. Al momento en que se evidenciaron los impactos y demás elementos ambientales faltantes a cada una de las metodologías consideradas, se dio cumplimiento al objetivo específico 3 y se completó el análisis del objetivo específico 1.
- iv. En los planteamientos de la sección 7 del estudio, una vez cumplidos los tres objetivos específicos y cuando se plantean al detalle aquellos lineamientos generales para la identificación y evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos de proyectos fotovoltaicos a partir de elementos de las metodologías matricial y ACV, se da cumplimiento al objetivo general del presente trabajo.

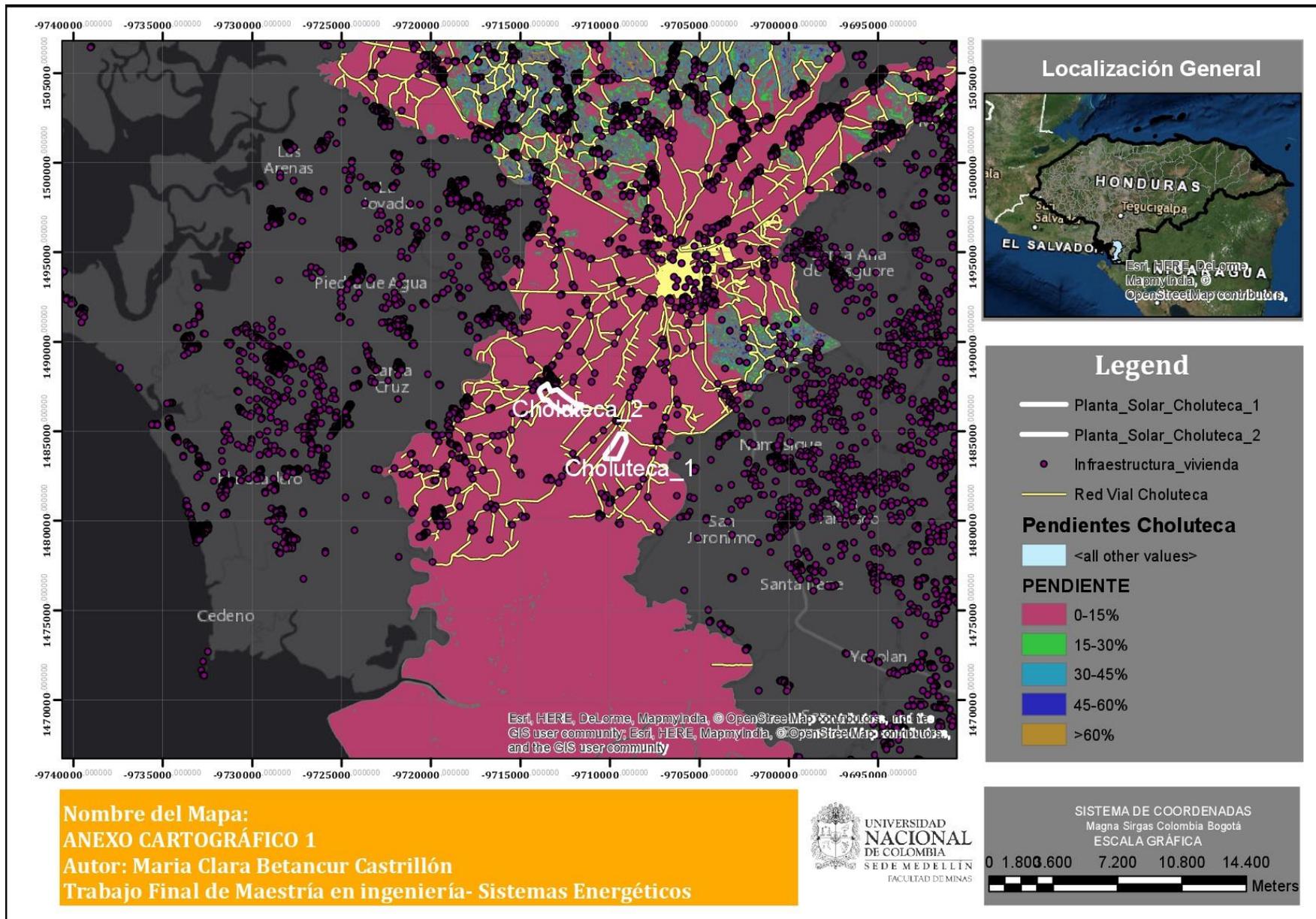
### **8.3 Recomendaciones**

- i. Se aconseja que los estudios ambientales de proyectos de desarrollo, incorporen en sus análisis (sujeto o no de licenciamiento) el estudio de las implicaciones y efectos ambientales de los impactos acumulativos y sinérgicos.
- ii. Se sugiere que los resultados de un análisis de impactos ambientales acumulativos y sinérgicos, que sean plasmados en posteriores estrategias de monitoreo, seguimiento o manejo, sean evaluadas y ejecutadas por interacciones multi-estamentario, dado el carácter complejo y compartido de la mayoría de los impactos de este tipo.
- iii. Las autoridades ambientales a diferentes niveles, representan un papel fundamental en la aplicación y/o exigencia de este tipo de metodologías o lineamientos mediante términos de referencia, tanto para que se identifiquen como para que se evalúen los impactos de acumulación y sinergia.
- iv. Dada la especificidad de los resultados de las metodologías analizadas y la complejidad del ambiente donde se desarrollan los proyectos, se sugiere que los lineamientos para evaluación ambiental, incluya una combinación estratégica de varios métodos de análisis, para lograr un estudio completo, aplicable y replicable.

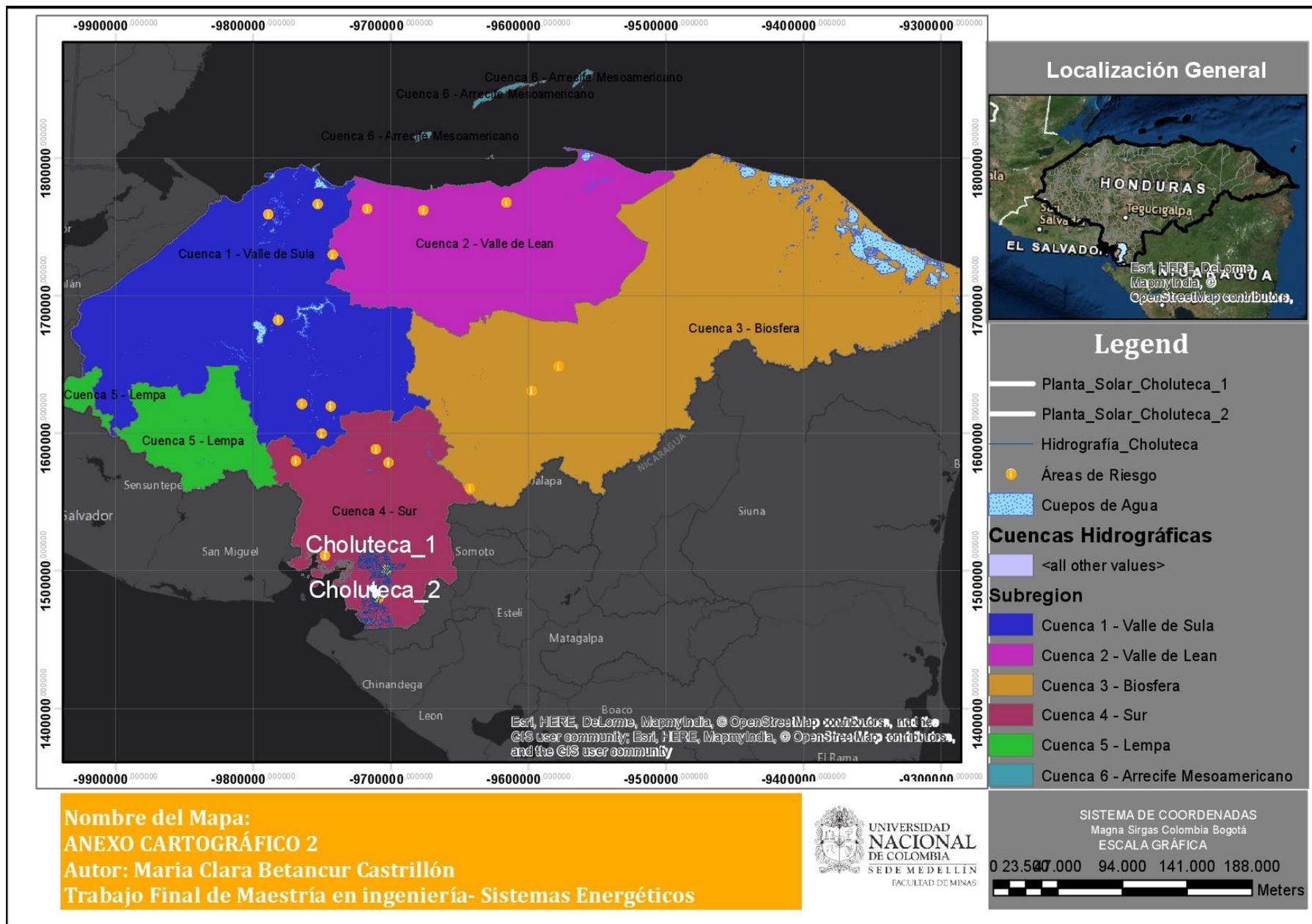
### **8.4 Anexos Cartográficos**



Anexo 1 Infraestructura Vial, Infraestructura de Vivienda y Sistema de Pendientes



### Anexo 2 Cuencas Hidrográficas, Red Hidrográfica, Cuerpos de Agua y Sitios de Riesgo

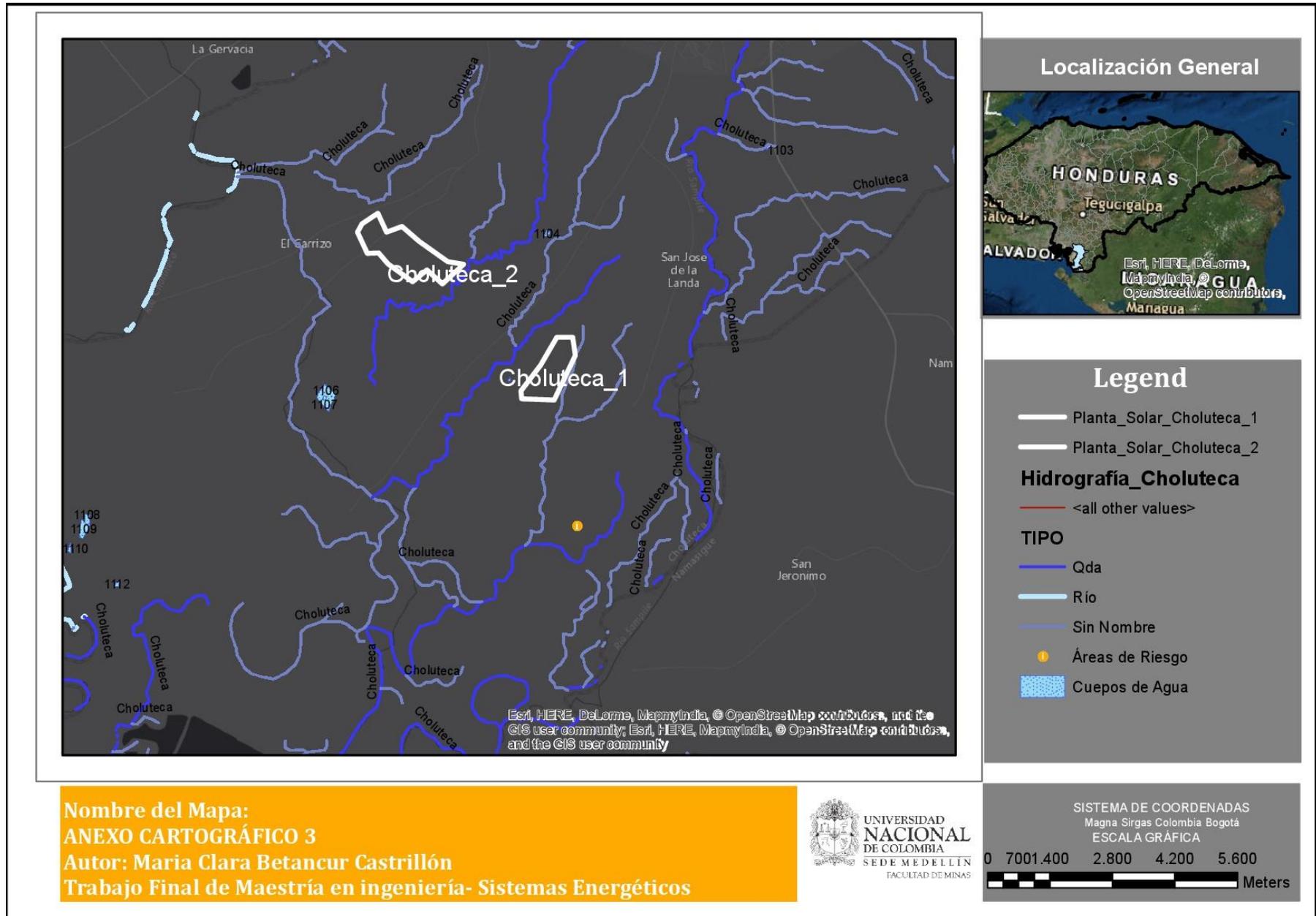


**Nombre del Mapa:**  
**ANEXO CARTOGRÁFICO 2**  
**Autor:** Maria Clara Betancur Castrillón  
**Trabajo Final de Maestría en ingeniería- Sistemas Energéticos**

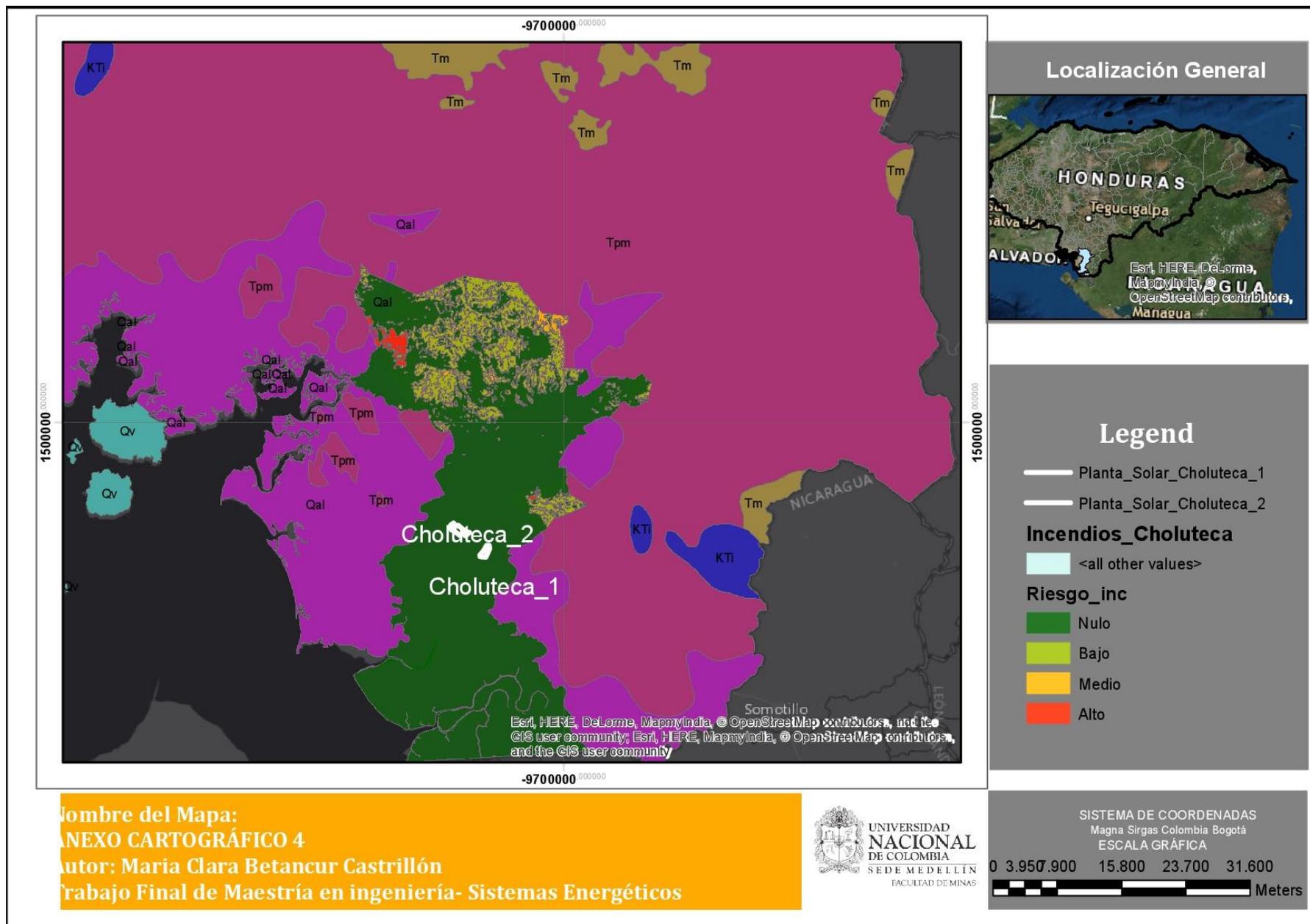


SISTEMA DE COORDENADAS  
 Magna Sirgas Colombia Bogotá  
 ESCALA GRÁFICA  
 0 23.500 47.000 94.000 141.000 188.000  
 Meters

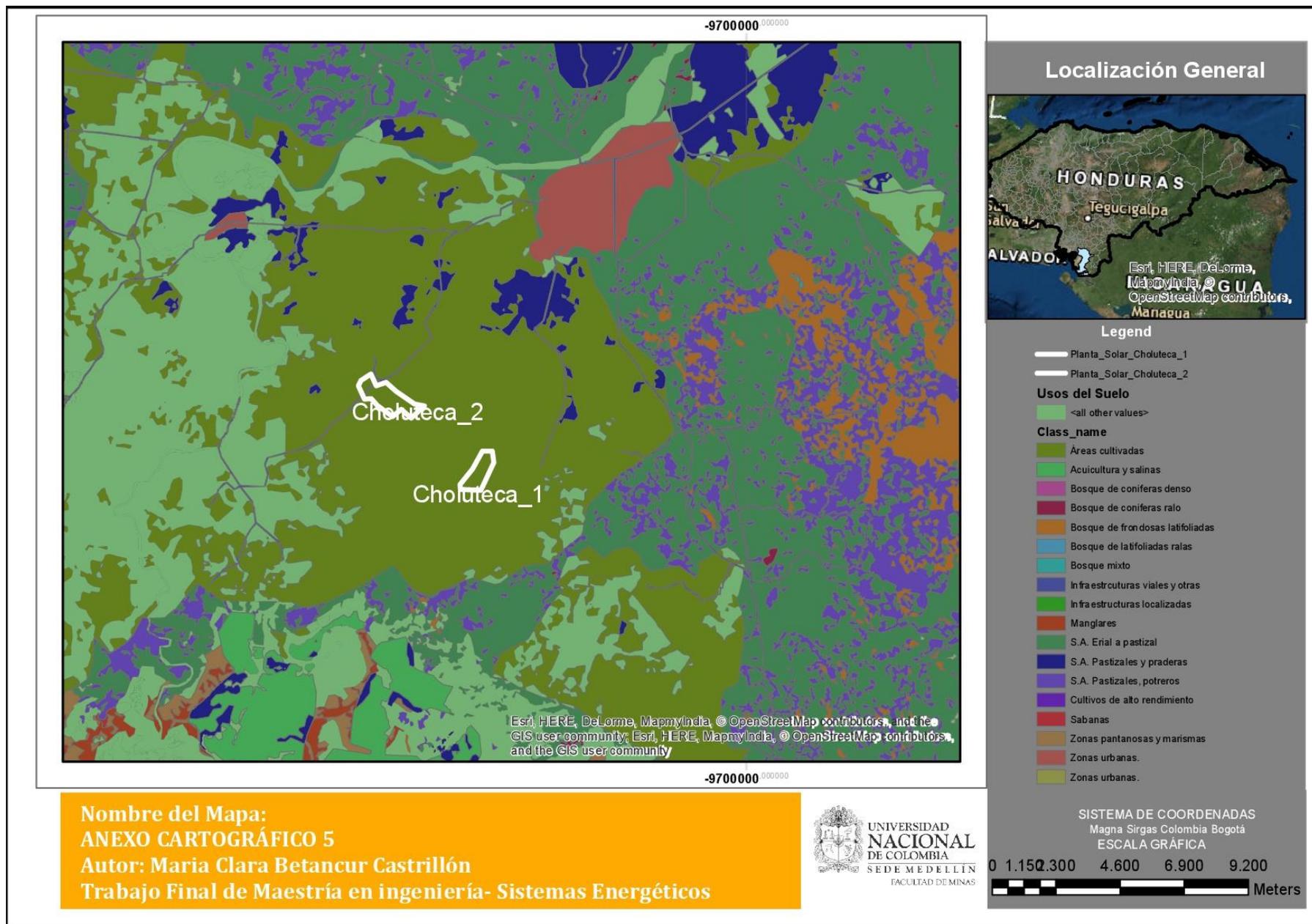
**Anexo 3 Quebradas, Ríos y otros cuerpos de agua, cerca de las plantas solares Choluteca I y II.**



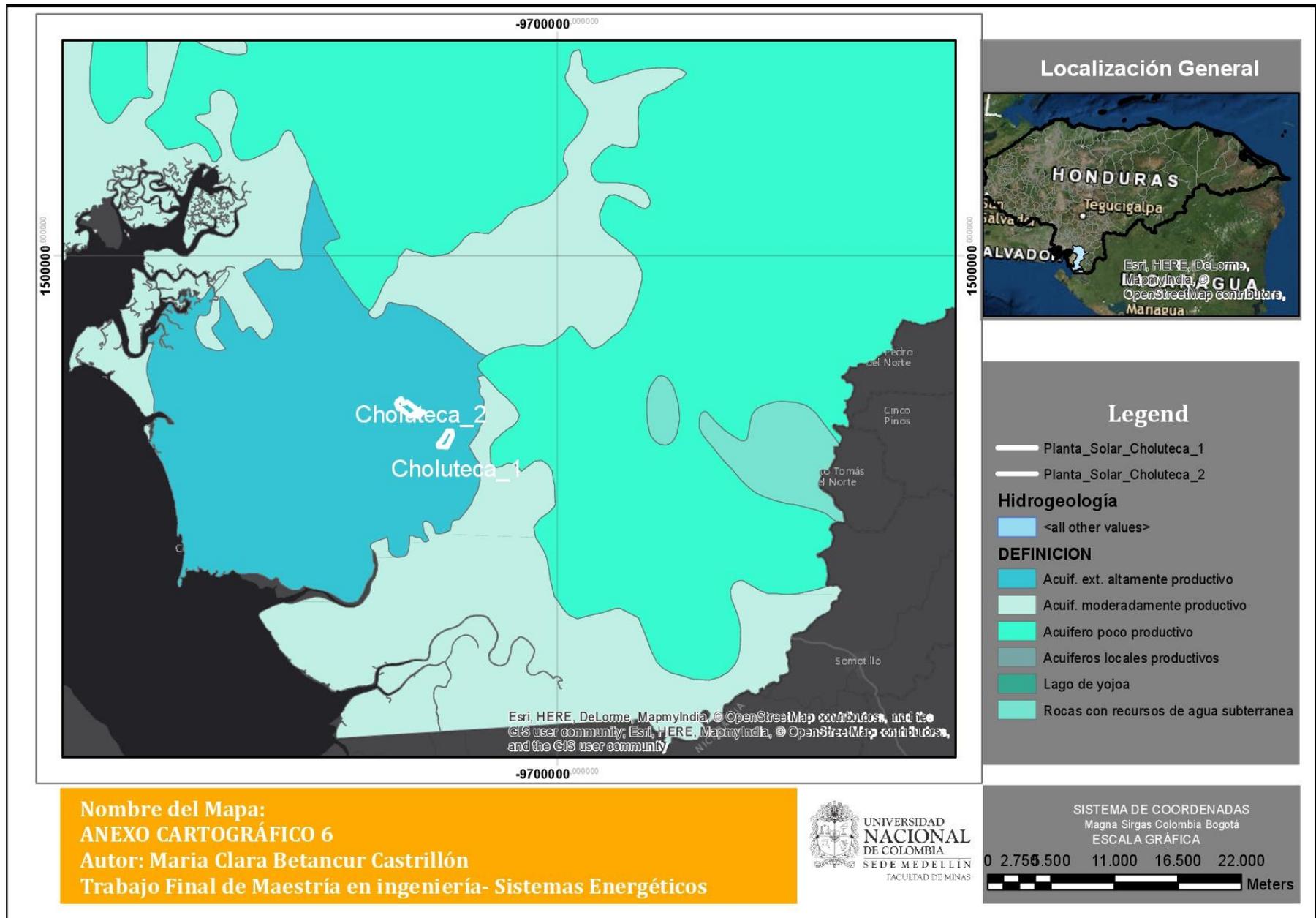
Anexo 4 Unidades litológicas (geología) y susceptibilidad a incendios



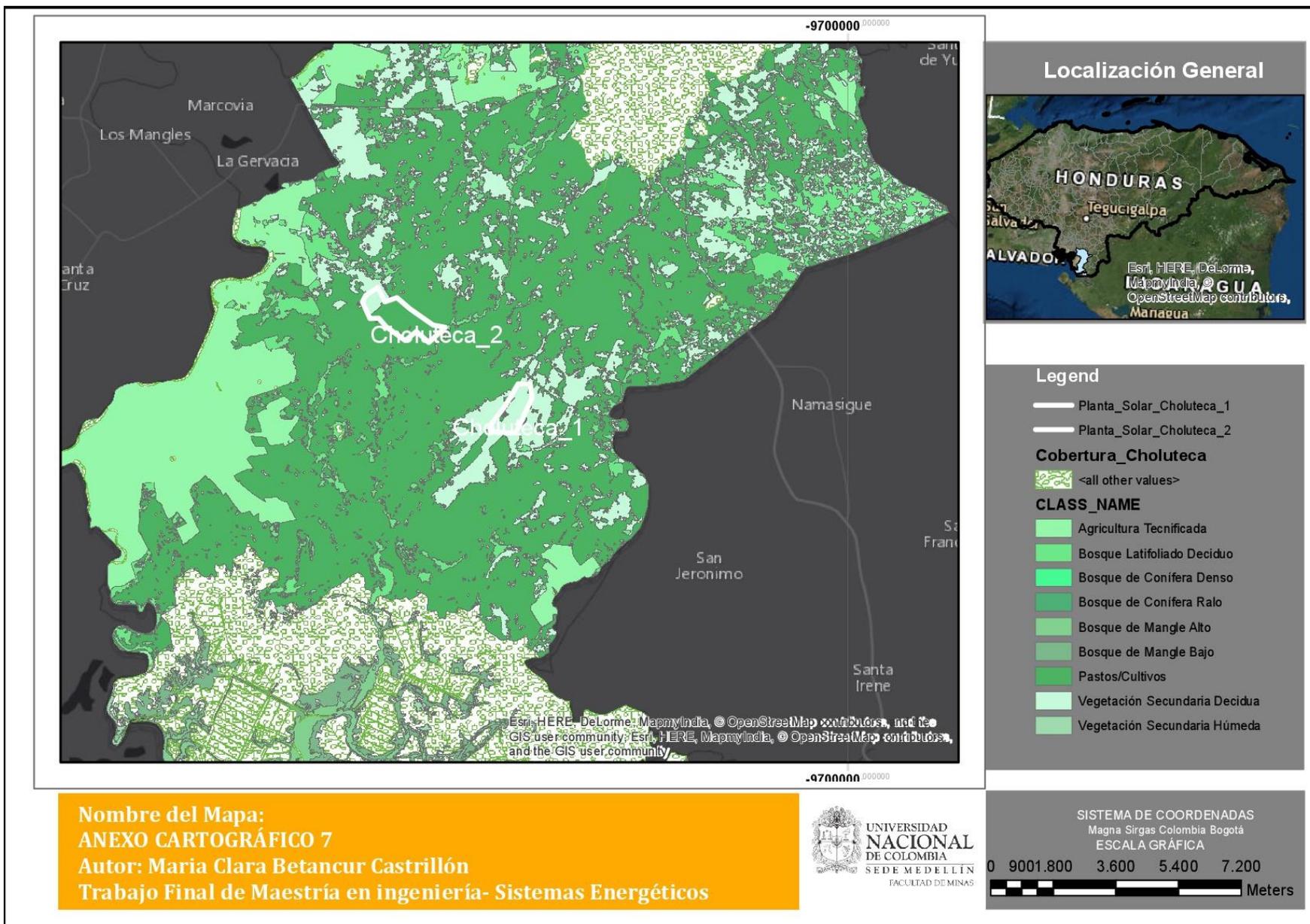
Anexo 5 Clasificación de los usos de suelos a nivel país



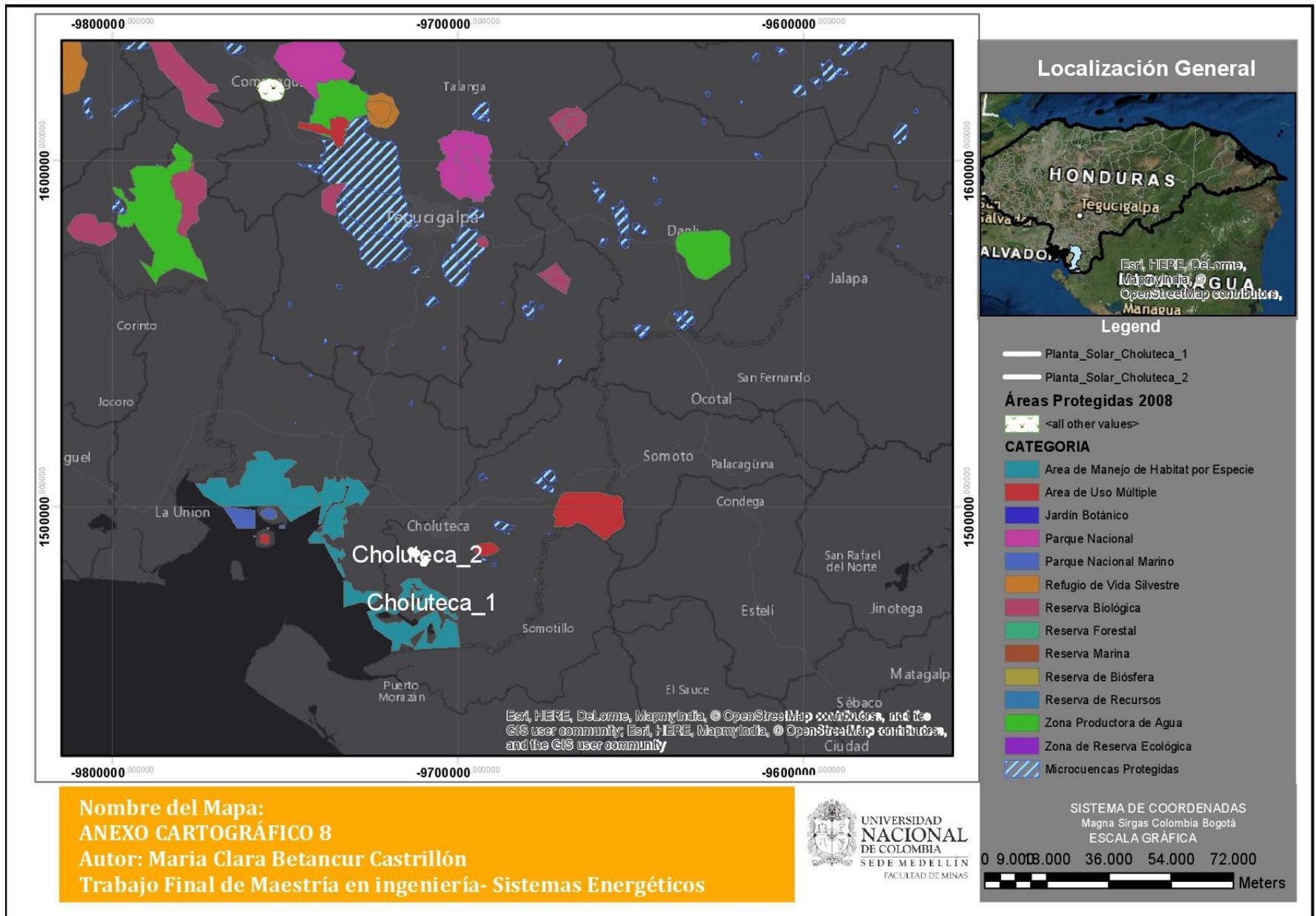
Anexo 6 Clasificación hidrogeológica de acuíferos subterráneos a nivel país.



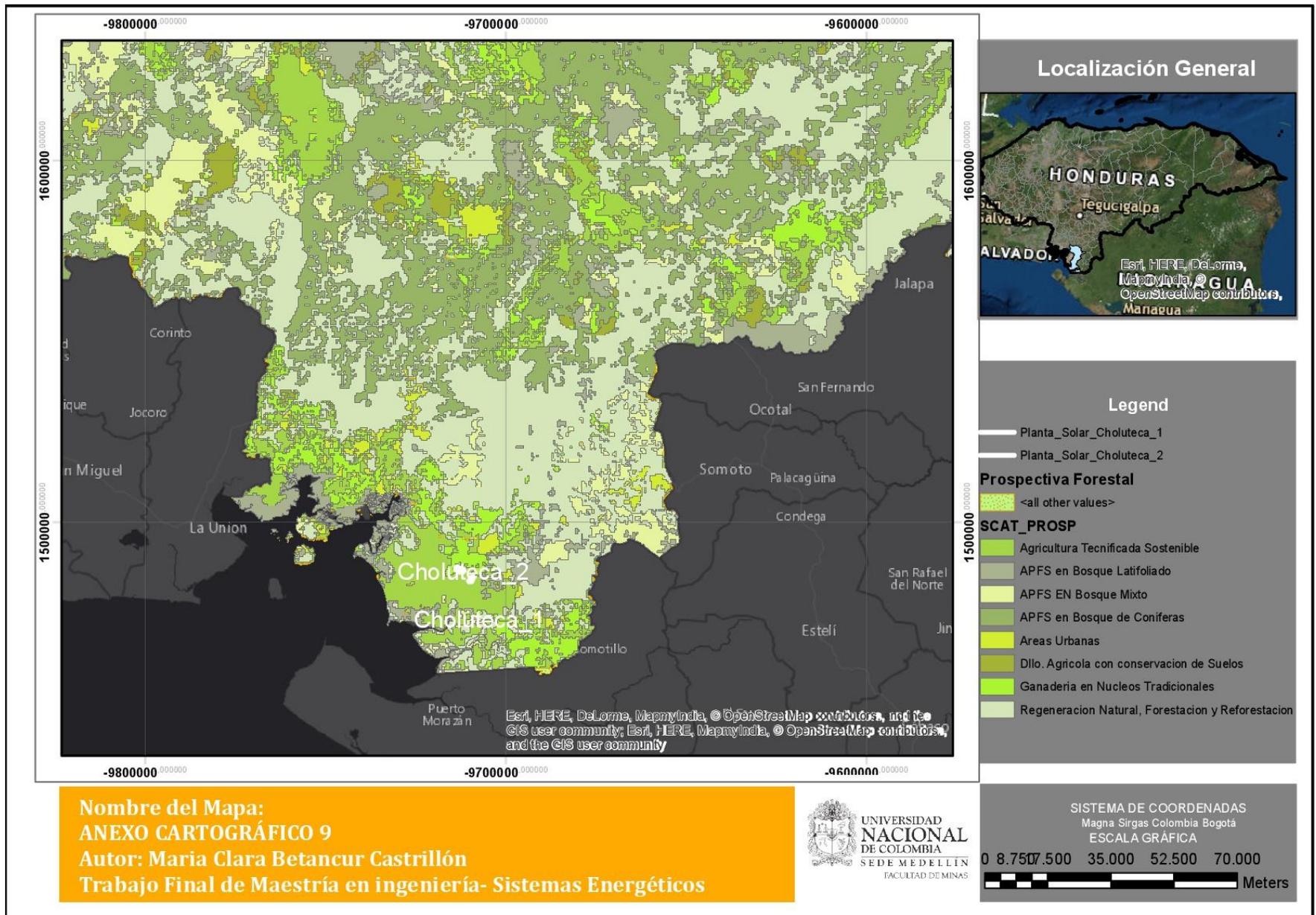
Anexo 7 Clasificación de las coberturas Vegetales a nivel país.



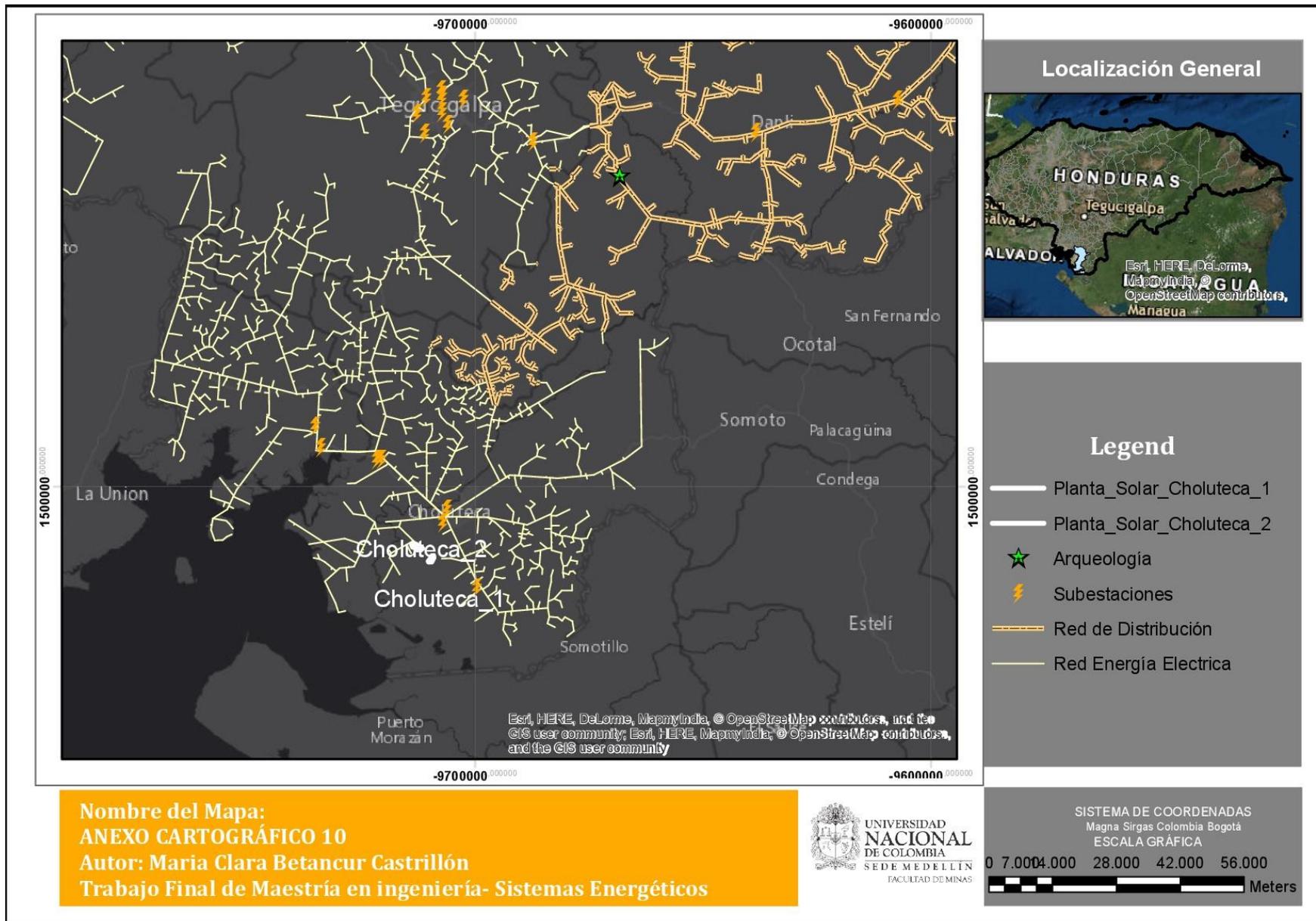
Anexo 8 Áreas protegidas (2008) y Microcuencas protegidas (2011)



Anexo 9 Clasificación de prospectiva forestal a nivel país.



**Anexo 10 Sitios arqueológicos, Redes de distribución eléctrica y Subestaciones**



**Nombre del Mapa:**  
**ANEXO CARTOGRÁFICO 10**  
**Autor:** Maria Clara Betancur Castrillón  
**Trabajo Final de Maestría en ingeniería- Sistemas Energéticos**



SISTEMA DE COORDENADAS  
 Magna Sirgas Colombia Bogotá  
 ESCALA GRÁFICA  
 0 7.000 14.000 28.000 42.000 56.000  
 Meters

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Acero, A. P., Rodríguez, C., & Ciroth, A. (2015). LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. *GreenDelta*, (February), 1–23. Retrieved from <http://www.openlca.org/documents/14826/c548f249-4f66-46a7-93a2-b915b0e0eec6>
- Adriana, B., Torres, S., Estudios, D. De, & Científica, L. A. P. (2012). Evaluación ambiental : impacto y daño . Un análisis jurídico desde la perspectiva científica. *Departamento de Estudios Jurídicos Del Estado EVALUACIÓN, Universida*(tesis Doctoral), 538.
- ANLA. (2014). Evaluación de impactos acumulativos en el proceso de licenciamiento ambiental. *SUBDIRECCIÓN DE INSTRUMENTOS, PERMISOS Y TRÁMITES AMBIENTALES*, (Grupo de Instrumentos y de Valoración económica), 40. Retrieved from <http://www.acolgen.org.co/jornadas/2014/Memorias/Ambiental/Evaluacion Pablo.pdf>
- ANLA. (2017). TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA EN PROYECTOS DE USO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Ministerio de Ambiente*, 1(TDREF15; Resolución 1670 del 15 de Agosto de 2017), 120.
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras O Actividades*, 132. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bank, W. (2012). Sample Guidelines : Cumulative Environmental Impact Assessment for Hydropower Projects in Turkey, 84.
- Clark, R. (1994). CUMULATIVE EFFECTS ASSESSMENT: A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Impact Assessment*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ia.2012.03.001>, 14.
- Conesa, V. (1993). GUIA METODOLOGICA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL. *Editorial MUNDI-PRENSA*, 2, Madrid, España. 61 Páginas.
- Cumulative Effects Assessment Working Group, Kingsley, L., Ross, W., Spaling, H., & Stalker, D. (1999). *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*.
- Del Río, J., Navas, L. M., Sánchez, L. F., Ruiz, N., Guimaraes, A. C., Hernández, S., ... Sanz, J. F. (2010). Análisis del ciclo de vida de un panel solar fotovoltaico empleado para la alimentación eléctrica de instalaciones de riego, comparando las metodologías ECO-Indicador 99 y EPS-2000.

- Desideri, U., Proietti, S., Zepparelli, F., Sdringola, P., & Bini, S. (2012). Life Cycle Assessment of a ground-mounted 1778kWp photovoltaic plant and comparison with traditional energy production systems. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.055>
- Fthenakis, V., Kim, H. C., Frischknecht, R., Raugei, M., Sinha, P., & Stucki, M. (2011). *Life cycle inventories and life cycle assessments of photovoltaic systems; 2011. Report T12-02, International Energy Agency (IEA) PVPS Task (Vol. 12)*.
- Gómez Orea, D., Teresa, M., & Villarino, G. (n.d.). Evaluacion de impacto ambiental. Retrieved from [https://books.google.com.co/books?id=9VOuAwAAQBAJ&dq=sinergia+ambiental&source=gs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.co/books?id=9VOuAwAAQBAJ&dq=sinergia+ambiental&source=gs_navlinks_s)
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., ... Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766–779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., ... Nemecek, T. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.2 (2010). *Ecoinvent Report No. 3, (3), 176*. Retrieved from [https://www.ecoinvent.org/files/201007\\_hischier\\_weidema\\_implementation\\_of\\_lcia\\_methods.pdf](https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf)
- ICONTEC. (2004). NTC ISO14001 DE 2004. *Norma Técnica Colombiana, Sistemas d*, 39.
- IFC., I. F. C.-W. (2013). Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos: Guía para el Sector Privado en Mercados Emergentes, 104.
- Impacts, C. (2014). 5. 5.1 cumulative impacts, (March).
- International Association for Impact Assessment, I. (1996). II Curso Internacional de aspectos Geológicos de protección ambiental. *Unesco-Unicamp Para América Latina Y El Caribe., Campiñas*, (ISBN 92-9089-073-8), 353.
- ISI., I. for S. I. (2015a). Envision- Sistema de Créditos. In *Envision* (p. 2).
- ISI., I. for S. I. (2015b). *Envision. Sistema de Calificación de infraestructuras Sostenibles*. Washington: ZOFNASS PROGRAM. Retrieved from [sustainableinfrastructure.org](http://sustainableinfrastructure.org)
- ISO. (2007). ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. LIFE CYCLE ASSESSMENT. REQUIREMENTS AND GUIDELINES. *Norma Técnica Colombiana, ICONTEC(NTC-ISO 14040)*, 33.
- Jungbluth, N., Stucki, M., Frischknecht, R., & Büsser, S. (2010). Photovoltaics. *Authors Update Autor Überarbeitung Niels Jungbluth, ESU-Services Autorin Überarbeitung Lucia Ciseri Autoren Bearbeitung*.

- Melgar, D. O. (2016). Teoría Conceptual - Sistémica de la Sinergia de Impactos Ambientales y el Establecimiento de Bases para su Evaluación Conceptual - Systemic Theory of Environmental Impact Synergy and Establishment of Bases for its Evaluation Acta Nova - Teoría Conceptual , 1–10.
- Páez, J. carlos. (2013a). Elementos de Gestión Ambiental, 1–6.
- Páez, J. carlos. (2013b). ELEMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL, ISBN-13: 9, 223.
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Chamorro, M. V. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano The environmental impacts of folic and solar energy implementation in the Colombian Caribe, 68–75.
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Vanegas Chamorro, M. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano. *Prospectiva*. Barranquilla: scieloco.
- Pehnt, M. (2006). Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31(1), 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.002>
- PREAD. (2010). Introducción al enfoque de ciclo de vida. *Subdirección de Ecourbanismo Y Gestión Ambiental Empresarial, Nivel IV(Programa GAE)*, 53.
- Rocchetti, L., & Beolchini, F. (2015). Recovery of valuable materials from end-of-life thin-film photovoltaic panels: environmental impact assessment of different management options. *Journal of Cleaner Production*, 89, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.009>
- SERSA. (2014). ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CHOLUTECA SOLAR II, 1–203.
- SunEdison-Hardvard, Gal, A. M., Env-, C. C., Env-, J. R., Georgoulis, A., Georgoulis, A., & Street, Q. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental de la Planta Fotovoltaica Choloteca I y II Honduras. Harvard-- Zofnass* (Vol. 1).
- Velásquez, J. D. (2014a). Una\_Guia\_Corta\_para\_Escribir\_Revisiones\_Sistematic\_2. *Dyna*, (<http://orcid.org/0000-0003-3043-3037>), 10.
- Velásquez, J. D. (2014b). Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 1. *DYNA*, 81(187), 9–10.
- Zhang, T. W. (2011). Produced-focused life cicle assessment of thin film silicon photovoltaic systems. *University of California*, 132.