

# FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRUEBAS ELECTROENERGÉTICAS  
(CIPEL)

*“Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas”*

*Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Eléctrico.*

**CONVENIO:**

**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA**

**JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA**

**DE COTOPAXI**

*(La Habana – Cuba)*

*(Latacunga-Ecuador)*



**Instituto Superior Politécnico**  
José Antonio Echeverría  
**cujae**



**Autor:**

**CARLOS PABLO GARZÓN SORIA**

**Tutores:**

*Dr. C. Ing. Miguel Castro Fernández*

*Dra. C. Ing. Elena Rosa Domínguez*

**Ciudad de la Habana – Cuba**

**Junio del 2010**

## **DECLARACIÓN JURADA**

Declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y autorizo al Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría para que haga de este trabajo de diploma el uso que estime pertinente.

Firma: \_\_\_\_\_

## HOJA DE FIRMAS

Este trabajo de diploma ha sido revisado y aprobado por las instancias correspondientes y para que así conste se firma la presente.

Tutor:

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Organismo: \_\_\_\_\_

Oponente:

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Organismo: \_\_\_\_\_

J Dpto.:

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Organismo: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por brindarme ese apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron durante los años de estudio a la Ing. Pastora Martínez por su colaboración en la confección de inventarios, a mi cotutora la Dra. Elena Rosa por el apoyo y conocimientos impartidos y de una manera muy explícita quiero agradecer a mi tutor el Dr. Miguel Castro Fernández por toda esa predisposición, por su tiempo brindado y por todas y cada una de las acciones que contribuyó para poder cumplir mis objetivos propuestos.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mi familia de manera especial a mi madre y mi hija Carlita

## RESUMEN

El presente trabajo está dirigido a la búsqueda de nuevas alternativas para generar electricidad con bajo impacto sobre el medio ambiente; para este estudio se utiliza la aplicación del método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta para evaluar los impactos ambientales en la generación de energía, usando las energías renovables y no renovables obteniéndose una evaluación cuantitativa de los impactos que nos permite comparar las diferentes tecnologías durante la fase de generación de electricidad.

El objetivo del estudio estuvo encaminado a la comparación de diferentes tecnologías de generación de electricidad incluidas las energías renovables para proponer la más eficiente desde el punto de vista ambiental y económico para la electrificación en diferentes lugares del país, intentando ocasionar el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Para ello fue utilizado el software profesional SimaPro 7.1, creado por Pré Consultant, para la evaluación de los impactos ambientales; al realizar este análisis se empleó una metodología que incluye las fases de la producción de electricidad para su evaluación ambiental mediante el Ecoindicador 99, donde se pueden apreciar los procesos que mayor influencia tienen en el Ciclo de Vida.

El mayor impacto ambiental obtenido es por el uso de la tierra en energías renovables debido a que se requiere de un área determinada para situar los equipos de generación y en menor cuantía las otras categorías de impacto y en energías no renovables la mayor influencia está dada en la categoría de combustibles fósiles debido al uso del diesel para la generación eléctrica mediante un grupo electrógeno, lo cual genera un gran número de sustancias que son emitidas a la atmósfera causando gran impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

This work is aimed at finding new ways to generate electricity with low environmental impact, this study uses the method of Life Cycle Analysis (LCA) as a tool to assess environmental impacts in power generation using the renewable and non-renewable energies obtained a quantitative evaluation of the impacts that allows us to compare the different technologies during the generation of electricity.

The objective of this study was aimed at comparing different electricity generation technologies including renewable energy in order to propose the most efficient energy through the point of view environmental and economical for the electrification in different parts of the country, trying to cause the least possible impact on environment. In this work was used professional software Sima Pro 7.1, developed by Pré Consultants, for the evaluation of environmental impacts, to perform this analysis used a methodology that includes the steps of the production of electricity for its environmental assessment by the Eco-gauge 99, where you can see the process that have great influence in the Life Cycle.

The greatest environment impact achieved by the use of land in renewable energy because it requires an area to locate the generating equipment and to a less place the other categories of impact and non-renewable energy is given the greatest influence on fossil fuel category because of use of diesel for power generation by a generator, which generates a large number of substances that are emitted into the atmosphere causing significant environmental impact.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
Portada	i
Declaración jurada	ii
Hoja de firmas	iii
Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Índice	viii
Introducción	xi
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD</b>	<b>1</b>
1.1 Energías renovables	1
1.1.2 Energía hidráulica	2
1.1.3 Energía a partir de la biomasa	5
1.1.4 Energía mareomotriz	8
1.1.5 Energía eólica	11
1.1.6 Energía solar	14
1.1.7 Energía geotérmica	18
1.2 Energías no renovables	20
1.3 Energía nuclear	23
1.4 Usos a nivel internacional de diferentes fuentes energéticas	25
1.5 Usos de las diferentes tecnologías en Ecuador	29
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>34</b>
2.1 Introducción.	34
2.2 Metodologías para estudios de impactos ambientales	35
2.3 Origen y evolución del ACV	36

2.4 Evaluación del impacto ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).	37
2.4.1 Etapas para realizar el ACV	38
2.4.1.1 Alcance del estudio	38
2.4.1.2 Análisis del inventario del ciclo de vida	39
2.4.1.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida	39
2.4.1.4 Evaluación o interpretación	40
2.5 Aplicación del ACV a los esquemas de generación de electricidad	41
2.5.1 Definición de objetivo y alcance	41
2.5.1.1 Objetivo	41
2.5.1.2 Alcance	41
2.5.2 Análisis del inventario	47
2.5.3 Evaluación del impacto	48
2.5.4 Evaluación o interpretación	61

### **CAPÍTULO III:**

<b>PROPUESTA DE PROYECTO PARA SOLUCIONAR EL CASO DE UNA COMUNIDAD SIN ACCESO A ELECTRICIDAD APLICACIÓN ACV PARA DICHA COMUNIDAD</b>	63
3.1 Introducción.	63
3.2 Presentación del caso.	63
3.3 Metodología	64
3.4 Generación fotovoltaica	65
3.5 Generación con grupos electrógenos	66
3.6 Generación con energía eólica	68
3.7 Generación fotovoltaica más grupos electrógenos (sistemas híbridos)	69
3.8 Generación híbrida fotovoltaica mas aerogenerador	70
3.9 Generación híbrida grupo electrógeno más aerogenerador	71
3.10 Generación hibrida fotovoltaica más aerogenerador más grupos electrógeno	73
3.11 Aplicación del método del (ACV) a los esquemas de generación de electricidad.	75
3.11.1 Definición de objetivo y alcance.	75

3.11.1.1 Objetivo.	75
3.11.1.2 Alcance	75
3.12 Análisis del inventario	76
3.13 Evaluación del impacto	77
<b>CAPÍTULO IV:</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	83
Conclusiones.	83
Recomendaciones.	84
Bibliografía.	85
Anexos.	

# INTRODUCCIÓN

La generación de electricidad, en términos generales, consiste en transformar una energía que puede ser de tipo química, térmica, mecánica, hidráulica, solar y eólica, entre otras en energía eléctrica; en los primeros años de aparición de la industria eléctrica se comenzó a electrificar ciertos lugares a través de pequeños generadores, que en un principio generaban energía eléctrica a través de corriente continua (CC), pero según fue incrementando la población y por tanto las grandes ciudades sobre todo en los países del primer mundo, fue difícil el transporte de esta corriente desde el centro de generación hasta el lugar de consumo por lo que debía instalarse muchos grupos de generación dentro de las ciudades. El científico Nikola Tesla fue quien desarrolló la corriente alterna (AC) y la forma de generarla; mediante este principio se inició a construir generadores pequeños y de baja potencia pero según avanzaba la tecnología se logró instalar los grandes y variados centros de generación aislados de los centros de carga, así también se han construido los sistemas de redes de transporte y distribución llevando la energía eléctrica a lugares habitados del planeta y son lo que hoy comúnmente se denominan como sistemas eléctricos de potencia (SEP).

La demanda de energía en un sistema eléctrico es variable dentro de un país o una ciudad; esta variación está basada en el consumo de energía la cual depende de la población, el clima, el uso de ciertos tipos de electrodomésticos y, sobre todo, de las industrias existentes en cada zona y su nivel de producción.

El consumo de energía eléctrica, en cada hora del día y cada día del año tiene una curva de carga, y la generación tiene que seguir esta curva, mientras la curva de carga aumente la curva de generación debe aumentar su potencia suministrada, debido a estos factores se debe tener varias fuentes de generación o reservas de generación para poder cumplir los requerimientos de carga cuando estos así lo requieran; el despacho de la generación se realiza de acuerdo al tipo de energía primaria que cada zona mantenga, analizando técnica y económicamente su rentabilidad y factibilidad.

## **Planteamiento del problema**

Uno de los problemas más difíciles que atraviesa el planeta, es el calentamiento global como consecuencia del mal uso o uso inadecuado de la energía, lo que ha afectado seriamente al medio ambiente, causa principal de este deterioro es el efecto invernadero, ocasionado por la quema de combustibles fósiles como es el petróleo y el carbón, provocando emisión de gases tóxicos que afectan al entorno, y en particular alterando las capas atmosféricas.

Causantes directos de estos daños por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles están los seres humanos, que acomodados a los avances tecnológicos y al derroche de energía, no han valorado el daño que se le ha dado al planeta.

El Ecuador, al encontrarse dentro de la cordillera de los Andes, tiene varias zonas que se encuentran divididas entre sí, ya sea por su topografía, clima, vegetación y población. Estas regiones son: la Costa, la Sierra el Oriente y las Islas Galápagos. Existe un porcentaje alto de personas que viven en el sector rural, como los páramos, sectores montañosos y selváticos, lo que hace casi imposible que estos sectores tengan acceso a ciertos beneficios como es la energía eléctrica e impidiendo, de esta manera, que sean más eficientes y competitivos tanto a nivel cultural como productivo y económico. En dichos sectores por encontrarse lejos de las redes eléctricas, se ha visto la necesidad de efectuar un análisis de nuevas fuentes energéticas valorando cual es la mejor opción, desde el punto de vista ambiental y económico para brindar un servicio de vital importancia que es la electricidad.

## **Hipótesis**

Es posible evaluar cuantitativamente el uso de diferentes fuentes energéticas a partir de la aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y proponer solución para la electrificación de zonas alejadas de las redes de los sistemas eléctricos de potencia.

## **Objetivo general**

Analizar y evaluar alternativas de generación de electricidad teniendo en consideración sus impactos sobre el medio ambiente.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar diferentes métodos y tecnologías para la generación de electricidad desde el punto de vista ambiental, aplicando el método de Análisis de Ciclo de Vida.
- Proponer una variante para la solución energética de una comunidad que no cuente con el servicio de generación eléctrica, teniendo en cuenta los impactos ambientales asociados a partir de diferentes variantes de generación.

## **Contenido general de la propuesta**

En el capítulo I se abordan temas relacionados con las diferentes tecnologías de generación de electricidad, principios generales, características fundamentales, ventajas y desventajas de cada tecnología. Uso a nivel internacional y uso de las diferentes tecnologías para generación de electricidad en Ecuador.

En el capítulo II se trata de la metodología de estudios de impacto ambiental, análisis de alternativas de generación de electricidad a partir de su evaluación del impacto en el medio ambiente, presentación y aplicación del método de análisis del ciclo de vida a los esquemas de generación eléctrica a partir del uso de las diferentes tecnologías.

El capítulo III trata acerca de la realización de un dimensionamiento preliminar para solucionar el caso de una comunidad sin acceso electricidad, desde el punto de vista técnico-económico y ambiental, aplicando el método de Análisis de Ciclo de Vida a los diferentes sistemas de generación.

En el capítulo IV se expone las conclusiones y recomendaciones obtenidas en este estudio realizado.

# **CAPITULO I**

## **TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD**

### **1.1. Energías Renovables**

En diferentes países del mundo existe como objetivo incrementar el uso de las fuentes de energías, que den solución a los incrementos de la demanda de energía, procurando ser eficientes y confiables en el servicio y, sobre todo, considerando el impacto ambiental que estas pueden causar.

Las fuentes energéticas renovables tienen la característica de ser relativamente limpias, e inagotables, aunque dependen en alto grado de la situación climatológica de cada zona para su nivel de producción eléctrica.

Al clasificar una fuente energética basta el asociar por lo general dos conceptos básicos: el aprovechamiento de la energía natural del planeta, lo que permite una fuente inagotable de flujo energético, y la no generación de residuos tóxicos como consecuencia directa de su utilización; la unión de estos conceptos define a las energías respetuosas con el medio ambiente, pero no todas las energías que se utilizan cumplen estos conceptos.

Un claro ejemplo puede ser el gas natural no exento de producir contaminación pero en un nivel contaminante menor con respecto a los combustibles fósiles; puede considerarse un tipo de energía poco contaminante, pero no es renovable.

Las energías renovables son tan antiguas como el Sol o el planeta, pues aparecieron con los ríos, las montañas, el viento y la luz. Se han utilizado desde

tiempos atrás para molinos de vientos, ruedas hidráulicas y otros usos, y hoy en día son más utilizadas para la producción de energía eléctrica, utilizando los recursos naturales que el planeta ofrece, sobre todo en países desarrollados donde tienen acceso a la tecnología necesaria para poder implantar esta producción.

### ***1.1.2 Energía hidráulica***

El agua ha sido utilizada por los seres humanos desde los inicios de la civilización, y en la actualidad la hidroelectricidad constituye un aporte importante de generación eléctrica renovable en el mundo. Esta energía como la mayoría de energías renovables depende del Sol. El Sol calienta los mares, lagos y ríos, que existen en la Tierra, formando vapor de agua el mismo que sube a la atmosfera formando nubes, y estas a su vez descienden a la Tierra provocando las lluvias y produciendo nuevamente caudales que se aprovechan para acumular en un embalse y producir energía eléctrica.

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura; la energía potencial del agua que se encuentra en un embalse, durante la caída, se convierte en energía cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación en los álabes de la turbina que se acopla a un generador o alternador y es donde finalmente se transforma en energía eléctrica. La energía hidráulica es un recurso natural disponible en zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir presas, canales de derivación, instalación de turbinas y equipamiento para generar electricidad, y es uno de los métodos más usados para producir energía eléctrica a gran escala. [4]

La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos megavatios (MW) hasta varios giga vatios (GW), por debajo de 10 MW se denominan mini centrales. En China se encuentra la mayor central hidroeléctrica del mundo (la Presa de las Tres Gargantas) con una potencia instalada de 22 500 MW. La segunda es la Represa Itaipú (que pertenece a Brasil y Paraguay),

con una potencia instalada de 14 000 MW repartida en 20 turbinas de 700 MW cada una; la utilización de esta forma de energía presenta problemas medioambientales derivados de la necesidad de construcción de grandes embalses en los que se acumula agua que deja de poder emplearse para otros usos, tiende a aumentar su salinidad y obstaculiza la circulación de la fauna acuática. [3]

### **Características fundamentales:**

- Tiene la cualidad de ser renovable, pues no se agota la fuente primaria al explotarla, es limpia, ya que no produce en su explotación sustancias contaminantes de ningún tipo.
- Utiliza una fuente que es un recurso natural disponible en zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta a su cauce.
- Produce trabajo a la temperatura ambiente, no hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía y, en muchos casos, contaminan, por lo que es más rentable en este aspecto.
- La potencia es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse, el nivel medio de las aguas debajo de la central y del caudal máximo que puede mover las turbinas, además de las características de las turbinas y de los generadores.
- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, es función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

Su uso en mini centrales, es decir con potencias inferiores a 10 MW, es ideal pues puede dar solución energética a ciertas poblaciones y afecta en menor proporción al eco sistema, debido a su ubicación o a ciertas características que mantenga cada zona o terreno; la principal causa de impacto ambiental de esta fuente de energía se debe a la construcción de infraestructura de embalses, los más grandes son los que mas grave e irreversible daño causan al medio ambiente. La figura 1.1 presenta un embalse hidráulico para generación de energía eléctrica.

**FIGURA 1.1. EMBALSE HIDRÁULICO PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA**



**Ventajas y Desventajas:**

**Ventajas**

- Es una energía renovable, por lo tanto no se agota y es poco contaminante.
- Es una energía limpia para su operación aunque no se pueda decir lo mismo en la etapa de su construcción.
- No emite gases contaminantes que destruyan la atmósfera como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, entre otros que son los causantes del efecto invernadero.
- El agua que se utiliza para golpear los álabes de las turbinas hidráulicas es completamente limpia por lo que puede ser reutilizada para regadío o cualquier otra actividad incluso el consumo humano.
- Al poder almacenar la energía primaria (agua) en un embalse, la energía generada es continua ya que se puede obtener en el momento que se requiere, diferenciándose de otras energías renovables como la solar o eólica.
- Su operación puede ser en zonas donde exista suficiente cantidad de agua para poder utilizar en generación de electricidad.
- No es imprescindible conectarse a la red de un sistema eléctrico.

## **Desventajas**

- El agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes, y demás propiedades del agua que fluye por el río.
- Impide el normal desarrollo de peces y otras especies acuáticas que tienen que remontar los ríos para desovar y se encuentran con murallas que no pueden traspasar.
- Interrupción de la vida acuática y perturbación de nutrientes que estos traen.
- La construcción de grandes presas en zonas pobladas y con riesgos sísmicos puede ocasionar serios problemas con las vidas humanas, la flora y la fauna existente.

### ***1.1.3 Energía a partir de la biomasa***

La biomasa o masa biológica es la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico, que puede ser utilizada como combustible energético y que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. Las fuentes de aprovechamiento de la biomasa para energía provienen principalmente de tres sitios: desechos, basura industrial y municipal; residuos de cultivos agropecuarios; y cultivos o plantaciones con propósitos energéticos. Pueden ser estos procedentes de la transformación natural o artificial de vegetales, animales, residuos agrícolas, desecho de ganado, residuos de origen forestal que proceden de los tratamientos de bosques, de cortas maderables, etc.

La energía a través de la biomasa es considerada como una energía renovable y limpia, siempre y cuando su uso sea moderado; esto quiere decir que su utilización no sobrepase la creación de la misma. En cuanto al impacto ambiental, la biomasa suele ser un combustible más limpio en azufre y metales que los combustibles fósiles; al quemar un combustible, ya sea fósil o biomasa, se genera un gas dióxido de carbono, que es el principal responsable (no el único) del calentamiento global del planeta por efecto invernadero [5].

No obstante se considera que la biomasa no contribuye mayormente al efecto invernadero debido a que todos los seres vivos están constituidos por elementos químicos, principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno; las plantas toman dióxido de carbono de la atmósfera para crecer y se devuelve dicho dióxido de carbono cuando se utilizan las plantas como combustible. Al quemar desechos maderables provenientes de árboles para obtener energía, la combustión de estos emiten CO<sub>2</sub> a la capa atmosférica; los árboles y las plantas absorben este CO<sub>2</sub>, y por tal razón su contaminación se considera nula o baja.

El aprovechamiento de la energía a partir de la biomasa se hace básicamente por dos métodos: directamente por combustión, o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles. El primer método para obtener energía es que puede entrar en combustión directamente la materia orgánica de la biomasa en una caldera y se obtiene energía calórica, la misma que se utiliza para calentar una red de tuberías que tapizan las paredes de la caldera, por las cuales se hace circular agua que se calienta hasta el punto de la ebullición obteniendo vapor de agua; dicho vapor ingresa a gran presión a una turbina que se encuentra acoplada a un generador y es donde se produce la energía eléctrica.

El segundo método consiste en transformar la biomasa en otras sustancias que se las utiliza como biocombustibles o biogás, dependiendo del tipo de materia orgánica que se utilice, principalmente de los residuos municipales y de los desechos de los animales, y con procesos similares al método anterior, mediante un generador térmico, se obtiene energía eléctrica.

### **Características fundamentales:**

- Toda materia orgánica puede ser aprovechada para la producción de energía, sin embargo, existen productos o cultivos que son mejores que otros por sus propiedades y dependiendo de la aplicación a la que estén destinados.
- Otro aspecto a considerar en el efecto del proceso energético del aprovechamiento de la biomasa, es el nivel de contaminación que produce,

tanto para el aire, el suelo y el agua, así como para la salud de quienes lo utilizan. Se debe determinar la emisión de CO, CO<sub>2</sub>, gases de nitrógeno, de azufre y elementos pesados, así como la ceniza resultante, los residuos del proceso y aspectos como el olor.[7]

- El uso de la biomasa como combustible tiene beneficios significativos como es mitigar el efecto del cambio climático, reducir la lluvia ácida y la contaminación del agua, reducir las cantidades de desechos en rellenos sanitarios y botaderos de basura, mejorar el ambiente y el hábitat natural.
- La biomasa tiene otros beneficios de carácter económico y social como la diversificación del uso de los cultivos para producción de energía y no solamente para consumo.

A continuación la figura 1.2 presenta biomasa de tipo natural.

**FIGURA 1.2. BIOMASA DE TIPO NATURAL**



#### **Ventajas y Desventajas:**

##### **Ventajas:**

- Es renovable y causa un menor impacto ambiental.
- La contaminación es menor que otras fuentes de energía, sus emisiones básicamente son de CO<sub>2</sub> y no hay presencia de azufre o cloro.
- Los residuos municipales pueden ser transformados en combustibles, evitando la contaminación ambiental y aprovechando su contenido energético, incluso por vehículos con motores diseñados para este sistema.

- La biomasa puede ser almacenada y utilizada en un momento determinado, suministrando un fluido de electricidad constante y sin variaciones.
- Toda materia orgánica puede ser aprovechada para la producción de energía.

**Desventajas:**

- La principal desventaja es su baja densidad energética; el rendimiento energético es inferior a otras fuentes de generación.
- Otra desventaja de la biomasa es que la explotación a gran escala de los recursos forestales pueden provocar efectos medioambientales negativos, como la deforestación.
- La energía derivada de la biomasa es renovable y es fácil de almacenar, pero opera con grandes volúmenes combustibles, que hacen que su transporte sea complicado y esto constituye un argumento en favor de su utilización local y sobre todo rural.

***1.1.4 Energía mareomotriz***

La energía mareomotriz está considerada dentro de las energías renovables, ya que es una fuente de energía limpia e inagotable; las mareas constituyen un fenómeno permanente y se fundamenta en transformar la energía que contienen las mareas para producir energía eléctrica. Las mareas son las fluctuaciones periódicas del nivel de los océanos, debido a la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol y a la rotación de la Tierra; en el mundo existen pocos lugares donde se pueda explotar la energía producida por las mareas, pues requiere una bahía o estuario y es necesaria una amplitud de marea mínima de 5 metros. [16]

Una planta mareomotriz que aprovecha la energía de las mareas para producción eléctrica es muy similar a una central hidroeléctrica; se puede aprovechar la energía de la marea construyendo una presa o barrera que cuando hay marea alta se abre, pasando el agua a través de un ducto que tiene en su interior una turbina, asociada a un generador, cuando hay marea baja la presa se cierra el nivel del

agua baja deja salir el agua y nuevamente hace girar la turbina que acciona al generador y produce electricidad.

La explotación de este tipo de energía no es muy usual y se encuentra aún en estudio; actualmente existen pequeñas centrales de generación que no son de gran aporte energético dentro un sistema eléctrico. El principal inconveniente para la explotación de esta fuente energética es el económico ya que los costos de inversión son bastante altos con respecto al rendimiento; por otro lado se requieren de grandes equipos para manejar grandes cantidades de agua por eso solo se puede aprovechar esta en lugares donde existan altas mareas y que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas, que a su vez no se centra solamente en el costo de la energía generada ya que tiene un impacto ambiental asociado a la construcción de embalses. Existen principalmente dos métodos para poder aprovechar su energía: las que se encuentran acopladas a las plataformas continentales y las flotantes, que se instalan en el mar y aprovechan el movimiento de las olas marinas para generar energía eléctrica; los diseños de estas fuentes energéticas están en el orden de cientos de kW, varían entre 1 y 2 MW pero todos los diseños deben considerarse experimentales. [17]

#### **Características fundamentales:**

- La explotación de la energía potencial correspondiente a la sobre elevación del nivel del mar aparece en teoría como muy simple: se construye un dique cerrando una bahía, o golfo aislándolo del mar exterior, se colocan en él los equipos adecuados (turbinas, generadores, esclusas) y luego, aprovechando el desnivel que se produce como consecuencia de la marea, se genera energía entre el embalse así formado y el mar exterior.
- Esta energía es limitada; para obtener efectividad en su explotación, la amplitud de la marea debe ser superior a los 5 metros, y el sitio geográfico adecuado, lo que elimina prácticamente el 80% de la energía teóricamente disponible.

A continuación la figura 1.3 presenta un cierre de una central mareomotriz.

**FIGURA 1.3. CENTRAL MAREOMOTRIZ**



**Ventajas y Desventajas:**

**Ventajas:**

- Es una energía limpia y renovable.
- Silenciosa no causa ruido exagerado.
- Representa bajo costo en lo que respecta a materia prima.
- Disponible en cualquier clima y en cualquier época del año.
- Responden de forma rápida y eficiente a los cambios de carga.

**Desventajas:**

- Alto costo de inversión inicial para la construcción de una central.
- Bajo rendimiento.
- Localización puntual.
- Causa impacto visual y estructural en zonas costeras y aledañas.
- No se puede generar a gran escala.
- Puede causar daño a la fauna y flora marina.
- Dependiente de amplitud de la marea.

### ***1.1.5 Energía eólica***

La fuerza del viento ha sido aprovechada por los seres humanos desde las primeras civilizaciones para sus necesidades de fuerza y transporte; la navegación en barcos de vela permitió que llegaran a sitios muy lejanos y que hicieran un intercambio de productos y culturas. Así como en los primeros molinos de viento y bombeo de agua, utilizados desde los primeros años de la existencia del ser humano, la energía eólica en la actualidad sigue incrementando cada día más su uso para la producción de energía eléctrica.

La energía eólica se obtiene a través de la energía cinética que es provocado por las corrientes de aire; esta energía, como la mayoría de energías renovables, depende en cierta forma de la energía solar. El Sol provoca diferentes temperaturas en cada zona del planeta por lo tanto se obtiene diferentes presiones atmosféricas y esto hace que las masas de aire de alta presión se desplacen a zonas de baja presión originándose el viento.

Un generador eólico está constituido básicamente de un rotor (que incluye las hélices o aspas las cuales se encuentran conectadas al eje principal o rotor), una góndola (es donde se sitúa el generador eléctrico, sistemas de control, orientación y freno) y la torre (que por lo regular es de tipo tubular, y es la que soporta a la góndola y al rotor).

El rotor, por medio de una serie de engranajes, se acopla a un generador eléctrico; aprovechando la energía cinética del viento que al chocar contra las aspas, se produce un movimiento en ellas obteniendo energía mecánica, que es transformada mediante un generador en energía eléctrica. Existen diversos tipos de aerogeneradores pero el más utilizado es el aerogenerador con rotor horizontal, normalmente con tres paletas, que oscilan entre los 40 y 60 m de diámetro en sistemas de potencia para producir electricidad.

La altura de la torre es importante ya que la potencia del viento está en función del cubo de su velocidad y mientras más alto se ubica al rotor mayor es la fuerza del

viento; para generar electricidad mediante energía eólica no se requiere de rachas fuertes si no de velocidades constantes; para instalar un parque eólico la velocidad del viento no puede ser inferior a 20 km/h ni ser superior a 60 km/h ya que cualquier variación que eleve la velocidad puede perjudicar las hélices e incluso el rotor; actualmente existen equipos diseñados para este problema y cuando muestran estas diferencias de velocidades entra en funcionamiento un sistema de control, dejando al aerogenerador fuera de operación. [9]

La utilización de la energía eólica ha crecido notablemente en los últimos años y cada vez es más utilizada sobre todo en los países desarrollados, (de manera especial en Alemania, EEUU, España y Dinamarca) alcanzando nuevas tecnologías con mayor potencia energética en los equipos; cuando se genera a gran escala mediante un parque eólico este debe conectarse a la red de un sistema eléctrico; cuando no está conectado a una red debe tener un sistema de almacenamiento de energía para poder utilizar la misma cuando la fuente de energía primaria (viento) no tenga la velocidad requerida para su operación, o realizar una combinación con otros sistemas de generación (híbridos), especialmente para sectores rurales.

#### **Características fundamentales:**

- Esta energía crea dependencia directa de las condiciones climatológicas que cada zona posea para obtener la cantidad de potencia requerida. [10]
- Se instalan generalmente en zonas costeras, alturas montañosas, islas o frente al mar.
- Un número de palas inadecuado puede incidir en un menor rendimiento (la estela que deja una la puede recoger la siguiente y frenarse); sin embargo, a mayor número de palas menor par de arranque; por tal razón se ha considerado la opción de tres palas como la óptima. En la figura 1.4 que se presenta a continuación muestra un parque de generación de energía eólica.

**FIGURA 1.4. PARQUE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**



**Ventajas y Desventajas:**

**Ventajas:**

- Es una energía limpia, evita el consumo de combustibles fósiles y de esta manera aporta contra el cambio climático.
- No genera ruido exagerado y es relativamente barata pudiendo competir con energías tradicionales.
- En la producción de energía eléctrica no emite gases tóxicos que afecte a la atmósfera y se elimina problemas de contaminación por transporte, extracción y combustión de combustibles fósiles lo que beneficia la no contaminación de la atmósfera, el agua y el suelo.
- Reduce el intenso tráfico terrestre o marítimo cerca de las centrales y no es necesario la instalación de tuberías para el transporte de combustible, gas y otros.
- Estas energías pueden instalarse en sectores rurales creando fuentes de trabajo y ayudando al crecimiento e igualdad de servicios de cada población, ya que no es indispensable la conexión a una red de un sistema eléctrico.
- Es autóctona y universal existe en cualquier lugar del mundo.

**Desventajas:**

- Necesitan amplios espacios para su operación, con grandes máquinas generadoras lo que perjudica el cultivo de las tierras para poder operar en este sector.
- Los parques eólicos causan un impacto estético, y alteran el paisaje en las zonas aledañas.
- Las aves pueden colisionar con las aspas causándoles la muerte; sin embargo se puede evitar estos accidentes pintando las aspas con colores claros.
- Alto costo de inversión inicial, aunque si se comparan con las energías tradicionales y evalúa sus costos por daños al medio ambiente, pueden estar en igual o menor costo.

***1.1.6 Energía solar***

La energía solar es el recurso energético más abundante que existe en el planeta, y que puede ser aprovechado para producir calefacción, agua caliente y energía eléctrica; la energía solar es producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión, llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones. La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede obtenerse depende de la orientación del dispositivo receptor; la recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía. [14]

La energía, una vez recogida se emplea en procesos térmicos o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. En la actualidad esta energía ha ido incrementando su uso ya que es considerada una energía relativamente ilimitada, inagotable y limpia porque no emite gases contaminantes que perjudiquen el medio ambiente, aunque quedan por investigar ciertas repercusiones que pueda ocasionar la fabricación de elementos

fotovoltaicos. Para su producción a pequeña escala pueden instalarse en zonas rurales o pueden estar a disposición para su producción a gran escala y conectarse a una red eléctrica de una zona determinada.

Para la producción de energía eléctrica mediante la energía solar existen básicamente dos métodos de generación: la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.

La primera se obtiene mediante paneles solares fotovoltaicos los mismos que se encuentran constituidos por dispositivos semiconductores; el principal material con el que están constituidos estos dispositivos son obleas finas de silicio (Si) o algún otro material semiconductor siendo su comportamiento idéntico al de un diodo: al momento de recibir radiación solar los electrones se excitan y provocan saltos electrónicos apareciendo una pequeña diferencia de potencial (tensión) en sus extremos; el acoplamiento de varios dispositivos de este tipo, permite la obtención de tensiones mayores. Mediante este proceso se obtiene corriente continua, la cual se lleva a un convertidor para transformarla en corriente alterna y poder hacer uso de ella a través de una conexión a una red eléctrica, o se puede aprovechar de forma autónoma en un determinado sector. La producción de electricidad por medio de esta fuente de energía crea dependencia climatológica directa; esto hace que se requieran de sistemas de almacenamiento de energía que permitan cubrir las necesidades cuando la energía primaria (Sol) sea insuficiente. [14] La figura 1.5 muestra una central de energía solar fotovoltaica.

**FIGURA 1.5. CENTRAL DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.**



El segundo método se basa en el calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional; este proceso se fundamenta en concentrar la energía solar, de forma que si todo el Sol que llega a un metro cuadrado logre concentrarse sobre un cuadrado de 10 cm, se producen temperaturas elevadas, de 300 °C hasta 1 000 °C, lo que permitirá mover un alternador para generar electricidad como en una central térmica clásica; la necesidad de concentrar la radiación solar radica en poder alcanzar la temperatura necesaria para obtener un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, lo que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido; el conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina heliostato. La figura 1.6 muestra una central de generación térmica.

**FIGURA 1.6. CENTRAL DE GENERACIÓN SOLAR TÉRMICA**



**Características fundamentales:**

- Como característica principal, se señala que un módulo solar no posee parte móvil alguna por lo tanto no se gasta lo que implica, a su vez, que puede operar por períodos extendidos de tiempo sin mantenimiento o intervención humana.

- La energía solar es una fuente renovable, que se emplea en muchas partes del mundo para abastecer la demanda de energía eléctrica; para poder conseguir un eficiente uso de la energía solar se necesita utilizar un módulo solar.
- La electricidad que se obtiene luego de transformar la energía proveniente del Sol tiene su origen en lo que conocemos como “módulos solares”, o “módulos fotovoltaicos”; este método es uno de los más innovadores y se debe principalmente a que es silencioso y no produce combustión ya que no requiere de combustible fósil para su funcionamiento.

### **Ventajas y Desventajas:**

#### **Ventajas**

- Es una energía relativamente limpia e inagotable.
- En la etapa de generación de electricidad no emana gases contaminantes que perjudiquen la atmósfera.
- Puede estar a disposición casi en cualquier parte del planeta, sobre todo si su uso es en pequeña escala.
- Se puede hacer uso de esta energía en zonas alejadas de las redes de eléctricas o de difícil acceso.

#### **Desventajas:**

- Alto costo de inversión inicial.
- Al momento de terminar su ciclo de vida puede causar impacto sobre el medio ambiente por causa de desechos fotovoltaicos.
- Impacto visual que causa lo cual es inevitable por las pantallas de captación solar.
- Se requiere de grandes espacios de terreno para su uso a gran escala que dejan de ser útiles para otros usos.
- Uno de los problemas de la electricidad generada con el Sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y costosa para almacenar, para poder consumir en el momento que se la requiera.

### ***1.1.7 Energía geotérmica***

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra en áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad que se perfora por fracturas naturales. Está considerada dentro de las energías renovables ya que es limpia e inagotable debido a que su funcionamiento se basa en el vapor que es obtenido directamente o mediante el agua caliente que se encuentra en el interior de la Tierra y que puede fluir naturalmente o por bombeo: el método a utilizar depende de cada caso. Esta energía se clasifica en tres tipos que son: de alta, media y baja temperatura.

Se puede generar electricidad mediante las dos primeras aunque lo ideal es generar con la de alta temperatura que se encuentra entre 150 y 400 grados centígrados y su profundidad está entre los 0,3 y 2 km, ya que la segunda está a una temperatura que fluctúa entre los 70 y 150 grados centígrados lo cual permite su uso para pequeñas centrales eléctricas pero no a gran escala, porque su rendimiento es bajo.

La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza terrestre (zonas volcánicas). A partir de acuíferos cuya temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie que es enviado a las turbinas y genera electricidad. Se requieren varios parámetros para que exista un campo geotérmico: un techo compuesto de una cobertura de rocas impermeables, un depósito o acuífero de permeabilidad elevada entre 300 y 2000 m de profundidad, rocas fracturadas que permitan una circulación de los fluidos, (y por lo tanto la transferencia de calor de la fuente a la superficie) y una fuente de calor magmático (entre 3 y 10 km de profundidad a 500-600 °C).  
[24]

La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo y en la mayoría de los casos se hacen con un número par de pozos, de modo que de uno

se obtiene el agua caliente y por el otro se vuelve a inyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. [11]

### **Características fundamentales:**

- Una planta geotérmica es básicamente una planta de vapor convencional donde el vapor se obtiene directamente de la Tierra y no del calentamiento del agua con combustibles fósiles.
- El agua o vapor condensado utilizado se vuelve a inyectar a la Tierra.
- El vapor de agua procede del calor de las capas más profundas de la Tierra.
- El flujo de producción de energía es constante a lo largo del año, la temperatura a la que se produce el vapor puede ser de hasta unos 500-600°C.
- El calor puede llegar a la superficie en forma de vapor de agua, agua caliente y gases.

La figura 1.7 que se presenta a continuación muestra fuentes de energía geotérmica

**FIGURA 1.7. FUENTES DE ENERGÍA GEOTÉRMICA**



### **Ventajas y Desventajas:**

#### **Ventajas:**

- Es una energía renovable inagotable y limpia.
- Las posibles sales o emisiones de gases no siempre se manifiestan al medio ambiente ya que por lo regular circulan en un circuito cerrado.

- Los recursos geotérmicos son mayores que los de petróleo o carbón y son considerados inagotables.
- Las posibilidades de agotar el yacimiento térmico son mínimas, puesto que el agua re inyectada contiene aún alguna cantidad de energía térmica.
- Los residuos que producen son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los combustibles fósiles.
- Es una fuente que evitaría la dependencia energética de combustibles fósiles.
- Existe ausencia de ruidos exteriores.

**Desventajas:**

- No está disponible en cualquier lugar del planeta.
- Puede suceder que emita ácido sulfúrico y en grandes cantidades esto podría ser fatal.
- Emisión de CO<sub>2</sub> aunque no es en grandes cantidades como en el caso de los combustibles fósiles.
- Contaminación de las aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- Es una energía cara y poco rentable.

## **1.2 Energías no renovables**

Cuando se piensa en energía en automático se asocia a la presencia de combustibles y de electricidad, elementos que han sido explotados durante siglos y que forman la base de la civilización; al hablar de energías no renovables se refiere aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y que una vez consumidas en su totalidad no pueden ser sustituidas o reutilizadas, ya que no existe sistema de producción o recuperación y se las define como energías convencionales o no renovables basadas principalmente en el uso de combustibles fósiles, entre los que están incluidos: el petróleo, el gas natural y el carbón, que son producto de restos de seres vivos enterrados millones de años atrás y que se transformaron bajo condiciones de presión y temperatura en dichos compuestos.

Una central térmica es una instalación que produce energía eléctrica a partir de combustibles fósiles en una caldera que es diseñada para este propósito; el combustible se almacena en depósitos adyacentes a la central desde la cual se suministra a la caldera donde se produce la combustión.

Los combustibles fósiles pueden ser utilizados directamente quemándolos para obtener calor y producir vapor a partir del agua, que circula por una extensa red de tubos que se hallan en las paredes de la caldera y puede llegar a tener temperaturas de hasta unos 600 grados centígrados; dicho vapor hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira con el de un generador que produce la energía eléctrica; esta energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, comenzando un nuevo ciclo.

El funcionamiento de las centrales termoeléctricas es prácticamente el mismo independientemente del combustible que sea utilizado; en la actualidad una gran cantidad de estos combustibles son utilizados para la producción de electricidad, por su alto contenido energético, fácil transportación y sobre todo porque pueden ser utilizados en el momento que se lo requiera; sin embargo la gran desventaja que tiene esta energía es el terrible impacto ambiental que estas producen, ya que emiten gases que contribuyen al efecto invernadero y las lluvias ácidas, como el resultado del procesamiento del carbón, fuel-oil, gas, entre otros.

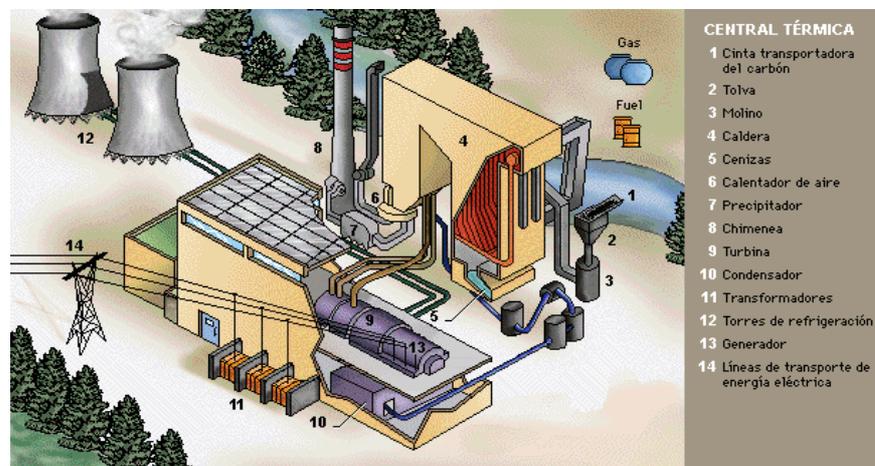
Así también estas centrales son importantes emisoras de otros agentes contaminantes como el ruido, el calor, las vibraciones, el polvo y los gases.

En el caso del petróleo es también preocupante su posible vertido de combustibles al mar cuando se transporta creando las famosas mareas negras; en general, los efectos ambientales por emisiones contaminantes tienen un orden de aumento de contaminación que va desde el gas, fuel-oil ligero, fuel-oil pesado y combustión de carbón. La figura 1.8 muestra los componentes de una central térmica.

### Características fundamentales:

- Son energías que se encuentran en la naturaleza con un límite de tiempo y una vez consumidas en su totalidad no pueden ser sustituidas o reutilizadas
- Las centrales térmicas de gas, además de reducir el impacto ambiental, mejora la eficiencia energética.

**FIGURA 1.8. CENTRAL TÉRMICA**



### Ventajas y Desventajas:

#### Ventajas:

- Son muy fáciles de extraer.
- Su gran disponibilidad y continuidad por un cierto tiempo.
- No dependen de las condiciones atmosféricas.
- Fácil transportación.
- Se pueden encontrar en diferentes zonas del planeta.

#### Desventajas:

- No son renovables y no son respetuosas con el medio ambiente.
- Incremento de efecto invernadero por su combustión.
- Sus costos dependen de la oscilación del precio del petróleo y sus derivados, y son normalmente elevados.

- Contaminación a la atmósfera por emanación de gases tóxicos como el CO<sub>2</sub> uno de los principales causantes del cambio climático mundial.
- La emanación de gases tóxicos a la atmósfera produce las llamadas lluvias ácidas afectando a la flora y fauna del planeta.
- Su producción puede agotarse en cualquier momento esto puede ser a corto mediano o largo plazo
- En su transportación pueden ocurrir derrames de estos combustibles, ya sean marítimos o terrestres, que afectarían a la fauna y flora.

### **1.3 Energía nuclear**

La energía nuclear es otra forma de generar energía eléctrica y que en los años cincuenta y sesenta del siglo XX, fue acogida con gran entusiasmo dado el poco combustible que esta consumía (con un solo kg de uranio podía producir tanta energía como con 100 toneladas de carbón), pero años más tarde se alertaron sobre peligros de radiación sobre todo en caso de accidentes, aunque en una central que este bien diseñada y manejada el riesgo de accidentes es bajo; sin embargo, esto ocasiona muchos conflictos y muchos países se han opuesto a esta tecnología, además de aparecer otro inconveniente con difícil solución como es el almacenamiento de los residuos nucleares de alta actividad. [12]

Existen principalmente dos métodos para aprovechar la energía nuclear para convertirla en calor: la fisión nuclear que consiste en que el núcleo atómico se subdivide en dos o más grupos de partículas, y la fusión nuclear, donde al menos dos núcleos atómicos se unen para dar lugar a otro diferente. El método más usado es el de fisión nuclear que utiliza el uranio como combustible. El isótopo 235 es el más utilizado y es sometido a fisión nuclear en los reactores, donde el núcleo del átomo de uranio es bombardeado por neutrones y se rompe originándose dos átomos de aproximadamente la mitad y liberándose dos o tres neutrones que inciden sobre los otros átomos que vuelven a romperse originándose una reacción en cadena; la fisión controlada del uranio 235 libera una gran cantidad de energía que se usa en una planta nuclear para convertir agua en vapor y este vapor ingresa

a la turbina que se conecta a un generador térmico que es donde se produce la energía eléctrica.

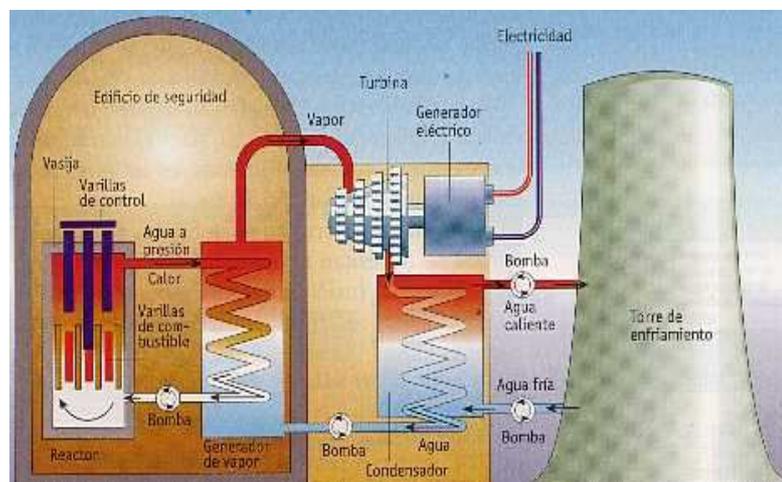
El uranio se encuentra en la naturaleza en cantidades limitadas, por tal razón se considera un recurso no renovable, y como además se encuentra en pequeña proporción, este mineral debe ser enriquecido, purificado y refinado hasta aumentar la concentración haciéndolo así más útil para su reacción. Una central nuclear contiene básicamente cuatro partes: el reactor (que es el que produce la fisión), el generador de vapor (que es donde el calor producido por la fisión se usa para hacer hervir el agua), la turbina (produce electricidad con la energía contenida en el vapor de agua), y el condensador (donde se enfría el vapor convirtiéndolo en agua líquida). [13]

### Características fundamentales:

- Este tipo de energía es generada a través de las reacciones nucleares o de la desintegración de los núcleos de determinados átomos, a través de dos procesos controlados: fisión y fusión.
- Requiere de muy poca cantidad de combustible para generar la energía que se desee, diferenciándose así de los combustibles fósiles.

La figura 1.9 presenta el esquema de funcionamiento de una central nuclear.

**FIGURA 1.9. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL NUCLEAR**



## **Ventajas y Desventajas:**

### **Ventajas:**

- Una de las principales ventajas de esta energía es que es mucho menos contaminante que los combustibles fósiles, emitiendo muy pocos contaminantes a la atmósfera.
- Rentabilidad en la producción de energía; se puede sinterizar una mayor energía por toneladas de combustibles fósiles.
- No produce humo ni dióxido de carbono ni favorece el efecto invernadero.
- Actualmente las centrales nucleares son bastante seguras, pero se deben destinar grandes cantidades de dinero para garantizar su seguridad.

### **Desventajas:**

- El principal inconveniente de la energía nuclear es que no es renovable, aunque al momento las reservas de este tipo son grandes pero cuando se terminen no se podrán utilizar más.
- Otro gran problema constituyen los residuos radioactivos que aunque no se generan en gran cantidad si son extraordinariamente peligrosos y para que reduzca su efecto una vez vertido se requiere de muchos de años.
- Gestión de almacenamiento de los residuos radiactivos.
- Riesgo para la población que conlleva los posibles accidentes nucleares.

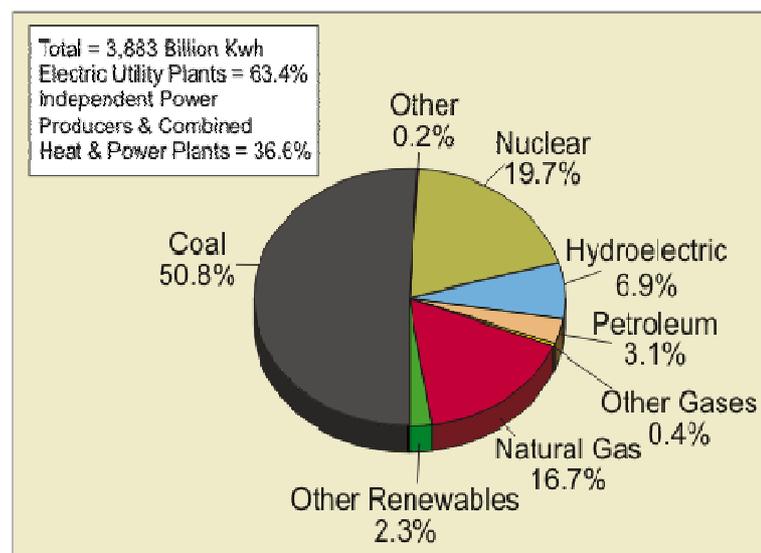
## **1.4 Usos a nivel internacional de las diferentes fuentes energéticas.**

La energía eléctrica se ha convertido en un elemento indispensable para prácticamente todas las actividades de la vida moderna en el mundo por ello es importante un suministro eléctrico con calidad, precios competitivos y, especialmente, con un bajo índice de impactos sobre el medio ambiente. El consumo de energía está íntimamente unido al desarrollo industrial por eso el uso energético es uno de los mejores indicadores de desarrollo económico de un país.

Desde el surgimiento de la revolución industrial a finales del siglo XVIII el incremento de la demanda de energía ha sido espectacular; el hombre desde su descubrimiento ha utilizado diferentes tipos de energía, pero las nuevas alternativas han ido incrementando más su uso debido a varios aspectos como el encarecimiento de recursos tradicionales, agotamiento de las fuentes de energía y descubrimiento de nuevos recursos, entre otros.

Actualmente más del 70,6 % de la producción de energía eléctrica generada a nivel mundial se basa en la utilización de combustibles fósiles como fuente primaria; el 19,7 % es a base de energía nuclear; el 6,9 % mediante energía hidráulica; un 0,4 % de energía que se produce con otros gases y sólo un 2,4 % se obtiene mediante energías renovables [19]; la realidad es que se seguirá dependiendo de los combustibles fósiles si no hay una participación consiente y efectiva de la industria eléctrica para la implantación de programas de energías renovables, y cabe mencionar que existen más de 2 mil millones de personas en el mundo que no cuentan con electricidad. La figura 1.10 presenta la producción eléctrica mundial.

**FIGURA 1.10. PRODUCCIÓN ELÉCTRICA MUNDIAL**



En los últimos años el costo de los energéticos, principalmente de los hidrocarburos, se han incrementado notablemente, aumentando los cargos a los

usuarios por el uso de los equipos que dependen de estas tecnologías; el ahorro de energía es un tema muy importante unido al uso de equipos de producción y aparatos de consumo más eficientes; esto no sólo permite reducir el impacto sobre el medio ambiente por el uso de combustibles fósiles, sino también representa la posibilidad de reducir el gasto que destinan los usuarios para consumos de energía.

No obstante en los últimos años el incremento de la capacidad de producción de origen renovable se está aumentando notablemente, sobre todo en los países del primer mundo, como resultado de la adopción de políticas a largo plazo para acelerar el uso de fuentes renovables, y de manera especial en países de la UE y EEUU. La UE establece para dentro de 10 años una reducción del 20 % en la emisión de gases de efecto invernadero incrementando un 20 % en la aportación y usos de las energías renovables, por lo que para el año 2020, la Asociación Europea de Energía Eólica, estima tener más de 20 000 MW instalados de potencia eólica para generación de electricidad.

China y la India son dos países que han decidido dar un impulso grande a esta forma de generación eléctrica, para lo cual se han asociado con empresas europeas para fabricar en esos países el equipamiento requerido. En América Latina, Costa Rica y Argentina llevan la delantera, con 20 y 9 MW respectivamente, Nicaragua también tiene planes de instalar una central eólica de al menos 30 MW. [9]

En California (EEUU) se encuentran algunas de las mayores granjas de viento del mundo y sus turbinas pueden generar unos 1 120 MW de potencia. En este contexto, podría pensarse que España ha pasado de ser un actor nacional periférico en materia energética, a convertirse en un país de gran importancia en la UE, por su vanguardia en las energías renovables, a la vez que su localización geográfica ha permitido al país desarrollar la energía solar y eólica, convirtiéndolo en el líder del uso de energías renovables; recientemente el Banco Europeo de Inversiones (BEI) ha concedido un préstamo de 80 millones de euros para el

desarrollo de una planta de generación de energía solar en la provincia de Andalucía, la primera a escala comercial que se construye en el mundo.

Por otra parte, la Fundación Europea por el Clima estima que será posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 80 % en el 2050 gracias a la energía solar y eólica instalada en los países de la UE. Se conoce que el uso de energía solar aumentó al doble en el 2009 con relación al año anterior y la energía eólica a crecido en un 35 % es así el caso de Alemania (que se encuentra entre los primeros países en generación eólica) seguido por los EEUU, Dinamarca, España y la India.

El incremento del uso de energías alternativas en el mundo promueve inversiones, genera fuentes de trabajo, resuelve problemas ambientales y reduce la emisión de gases a la atmósfera. La previsión para el periodo 2004-2030 es que las nuevas alternativas de generación eléctrica continúen creciendo su uso a razón de un 1,8 % anual, en un principio se beneficiaran por los altos precios de los combustibles fósiles y su atractivo como fuentes poco contaminantes, por lo que muchos países llevan a cabo políticas de fomento de energías renovables.

En realidad estas fuentes de energías primarias son poco costosas, e incluso gratuitas, pero la tecnología necesaria no ha alcanzado aún el grado de madurez suficiente para que sean económicamente rentables para su uso; sin embargo, si se hace relación con el costo de la producción de las energías tradicionales (incluyendo el gasto por reparación de impacto que estas ocasionen sobre el medio ambiente), tendrían costos similares y en ciertos casos incluso más convenientes, además de tener en cuenta que el uso de las energías tradicionales tiene un límite de tiempo porque a corto mediano o largo plazo se agotan.

Aunque la producción y el uso de nuevas fuentes de energías pueden proporcionar un abastecimiento seguro y no contaminante, sin riesgo de agotamiento de las reservas, uno de los obstáculos más grandes, además de las dificultades técnicas es el elevado costo de las tecnologías con relación a los combustibles fósiles; su uso se ha ido incrementando en países donde la tecnología es más avanzada, por

lo que los costos para su producción cayeron en el decenio anterior y actualmente lo siguen haciendo, siendo de gran beneficio ya que si los costos de producción de estas tecnologías decaen se incrementa la potencia instalada haciéndoles más competitivos.

El uso de las energías renovables es una alternativa que debe implantarse a corto plazo, para mitigar el cambio climático que tanto afecta al planeta.

### **1.5 Usos de las diferentes tecnologías en Ecuador.**

Como se menciona en el epígrafe previo a este, existe una gran dinámica mundial para el uso de energías alternativas de la cual Latinoamérica no puede escapar, y por supuesto Ecuador no puede ser la excepción en la gestión de ampliar la producción energética y contar con energías modernas y amigables con el medio ambiente. A través del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables se busca introducir de una manera general el tema de nuevas alternativas de generación eléctrica interpretando sus características, propiedades, sus diferentes formas, aplicaciones, restricciones y consecuencias. Además se pretende hacer el primer acercamiento a las energías renovables evidenciando un gran interés por las posibilidades de preservación del medio ambiente que representa el uso de estas; en los proyectos que se llevan a cabo en empresas públicas y privadas se trata de reorientar al país hacia nuevos usos de energías renovables basados en la eficiencia y equidad energética, potenciar la concienciación del uso racionado de energía, la fusión de empresas estatales para crear una red nacional, verificar sus ventajas y desventajas, y la posibilidad de su uso y de aplicación en diferentes sitios.[20]

Una nueva cultura de uso de las energías renovables es el objetivo del Ministerio de Electricidad y su aprovechamiento puede realizarse sin poner en riesgo el medio ambiente; el Ecuador dispone de un alto potencial de energías primarias renovables como fuentes de generación siendo el recurso hídrico es el que más se destaca aunque, según estudios realizados, solo entre un 8 y 10 % es aprovechado.

El uso de pequeñas centrales hidroeléctricas en el Ecuador solventaría la falta de energía eléctrica en las zonas rurales y compensaría la deficiencia en la calidad del servicio en aquellos usuarios que ya tienen electricidad pero experimentan problemas de variaciones de tensión o desean aumentar su consumo. Por ejemplo, en las primeras décadas del siglo XX, las industrias textiles de la sierra ecuatoriana funcionaron con pequeñas centrales hidroeléctricas que pueden ser rehabilitadas; sistemas micro o pico hidroeléctricos pueden también ser instalados en los ríos del oriente y de la costa, por su alto caudal.

En la actualidad, el problema que se enfrenta es la falta de conocimiento de los usuarios para la instalación de estas soluciones energéticas, así como la ausencia de financiamiento. La aplicación y uso de estas energías requieren de una estructuración a corto plazo; actualmente se habla de planificación de las diferentes tecnologías como, por ejemplo, el potencial eólico; en el sector de la sierra la velocidad del viento que existe es muy pequeña debido a la altura que se encuentra sobre el nivel del mar, lo cual reduce la posibilidad de ser utilizada ya que para producir electricidad con energía eólica, se requiere de vientos constantes y no de fuertes rachas irregulares; sin embargo, no se descarta la posibilidad que existe de generar energía eléctrica mediante esta tecnología en las zonas insulares, por ser sectores que se encuentran al nivel del mar y son aptos para uso de esta tecnología y de hecho existen pequeños aerogeneradores en las Islas Galápagos y la provincia de Loja. También se han realizado estudios de factibilidad acerca del aprovechamiento de la energía solar en sectores de la Costa, Oriente y las Islas Galápagos, siendo zonas muy aptas para la producción eléctrica por los niveles de radiación solar existente; sin embargo, todas las energías renovables no están aún completamente desarrolladas sobre todo en los países en vías de desarrollo, lo que encarece su aplicación ya que la tecnología requerida para su instalación tiene que ser importada de otros países incrementando, aún más, sus costos.

Dentro de estas nuevas alternativas de generación también se encuentra la fuente de energía geotérmica con la cual existe mucho entusiasmo. Los Andes es una

zona volcánica idónea para la instalación de centrales de este tipo; estudios efectuados en los años 1980 por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación identificaron 12 sitios potenciales en la zona interandina para la instalación de plantas geotérmicas. El Ecuador ocupa una región de volcanes, que es de donde proviene dicha energía; según dichos estudios, realizados para proyectos geotérmicos, el sector de Chalupas considerado como la gran caldera cuenta con esta energía primaria con la presencia del volcán Cotopaxi (situado en la provincia del mismo nombre) y también existen otros sectores como Ilaló Papallacta y Cuenca que pueden ser propicios para realizar proyectos de generación eléctrica a través de esta tecnología.

La energía eléctrica que existe actualmente en el Ecuador se basa principalmente en el uso de recursos hídricos, el cual entrega cerca de un 50 % de la energía que requiere actualmente. Cuenta con grandes centros de generación que son de vital importancia como las centrales Paute (que es la mayor de todas), Marcel Laniado, San Francisco, Agoyán, Pisayambo y Pucará entre otras. También cuenta con pequeñas centrales hidráulicas, algunas de estas conectadas a la red eléctrica y otras operan fuera de la red del Sistema Nacional de Interconectado para ciertas zonas autónomas.

Otras fuentes importantes de generación son las centrales térmicas que básicamente utilizan como energía primaria derivados del petróleo entre las cuales están las de motores de combustión interna (MCI), la térmica turbogas y la térmica turbovapor.

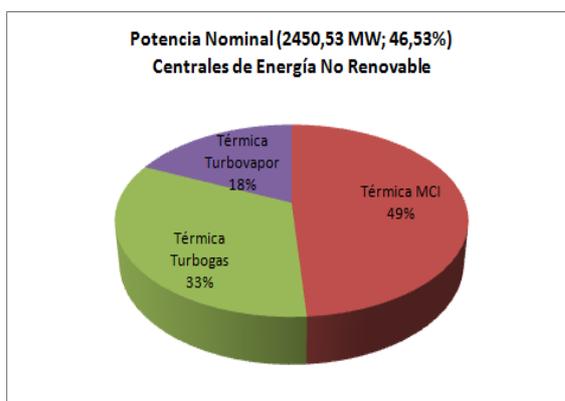
El Sistema Eléctrico del Ecuador se compone del llamado Sistema Nacional Interconectado (S.N.I) [20] que atraviesa las ciudades más importantes del país y tiene, al norte, una interconexión con Colombia, y al sur, una con el Perú más otros sistemas de generación aislados de pequeñas capacidades como por ejemplo: Sucumbíos, Galápagos y las centrales de autogeneración de empresas estatales y privadas. La tabla 1.1 muestra la potencia nominal según la fuente de energía, y la potencia de interconexión.

**TABLA 1.1. POTENCIA NOMINAL SEGÚN LA FUENTE DE ENERGÍA**

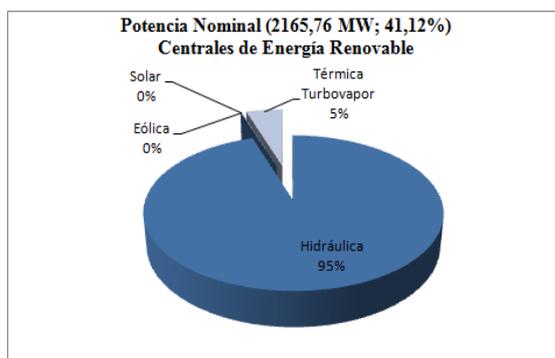
<b>Fuente de Energía</b>	<b>Tipo Central</b>	<b>Potencia Nominal (MW)</b>
Renovable	Hidráulica Embalse	1 361,00
	Hidráulica Pasada	695,54
	Solar	0,02
	Eólica	2,40
	Térmica Turbovapor	106,80
<b>Total Renovable</b>		<b>2 165,76</b>
No Renovable	Térmica MCI	1 197,40
	Térmica Turbogas	807,14
	Térmica Turbovapor	446,00
<b>Total No Renovable</b>		<b>2 450,54</b>
Interconexión	Interconexión	650,00
<b>Total Interconexión</b>		<b>650,00</b>
<b>Total general</b>		<b>5 266,29</b>

Las figuras 1.11; 1.12 y 1.13 muestran el porcentaje de generación de energía según la fuente de energía.

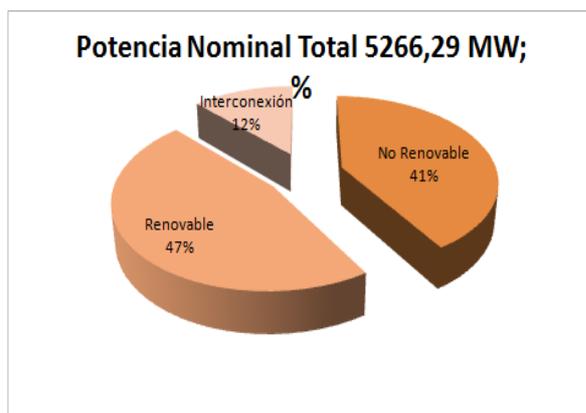
**FIGURA 1.11. FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLE**



**FIGURA 1.12. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES**



**FIGURA 1.13. POTENCIA TOTAL DE LAS CENTRALES DE GENERACIÓN**



## **CAPITULO II**

### **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

#### **2.1 Introducción**

Desde siempre el hombre ha estado íntimamente ligado al medio ambiente ya que es la fuente de recursos que abastece al ser humano de materias primas que necesita para su desarrollo; sin embargo, las acciones de este afectan enormemente a multitud de ecosistemas modificando con esto la evolución natural de la Tierra. Como se menciona en el capítulo previo el planeta está atravesando, y de una manera insostenible, el problema del calentamiento global debido al efecto invernadero.

Al hablar de impacto ambiental se quiere con ello definir el efecto que una actividad produce (acción favorable o desfavorable) en el medio es decir, la alteración positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano y del entorno. Los estudios de impacto ambiental (EIA) son herramientas muy útiles para prevenir alteraciones en el entorno, y tiene por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que una actividad o proyecto puede producir, así como la prevención y valoración de los mismos, que consiste en transformar los impactos medidos en unidades heterogéneas a unidades homogéneas de tal forma que permita comparar alternativas diferentes mediante indicadores de impacto; estos impactos pueden expresarse de forma numérica o a través de valoraciones de cualidad.

Es necesario hacer constar que el término impacto no siempre se refiere a un tipo negativo, es decir, los impactos pueden ser de tipo positivo o negativo; cualquier acción humana provoca un impacto sobre el medio ambiente, y puede ser físico-químico, biológico, paisajístico, social, cultural y económico entre otros, y estos a su vez engloban el agua, el suelo, el clima, la fauna, la flora, etc. El estudio que se realiza en este capítulo permite conocer la alteración que va a conllevar sobre el medio ambiente una acción determinada a partir de predecir y evaluar las consecuencias que la ejecución de dicha acción pueda ocasionar en el entorno en la que se localiza; además sirven para indicar medidas correctoras o minimización de sus efectos determinándose límites en los valores de las variantes que entran, ya sean estas de forma cualitativa o cuantitativa.

En la actualidad la realización de estudios de impacto ambiental se dan por varias razones entre las que se puede citar como más relevantes:

- Evita graves problemas ecológicos.
- Mejora el entorno y la calidad de vida.
- Ayuda a perfeccionar un proyecto.
- Canaliza la participación ciudadana.
- Genera una mayor concienciación social del problema ecológico.[35]

## **2.2 Metodologías para estudios de impactos ambientales**

Para la realización de una evaluación de impactos ambientales no existe un método general; cada metodología se refiere a impactos ambientales específicos y ninguno de los métodos se encuentra completamente desarrollado debido precisamente a la especificidad e imposibilidad de generalizar una determinada metodología. El primer paso para establecer una metodología es dar una idea de la magnitud del impacto, existiendo muchos procedimientos para los estudios de impacto ambiental sobre el medio ambiente o sobre alguno de sus factores; estos procedimientos pueden ser generales y otros específicos o concretos, algunos cualitativos y otros operan con amplias bases de datos e instrumentos de cálculos más o menos sofisticados.

La metodología que se usa en este trabajo pretende además de incorporando aspectos ambientales al analizar las diferentes fuentes energéticas, presentar el método de análisis de ciclo de vida (ACV) como una herramienta de gestión medioambiental para la realización de la evaluación de impacto ambiental, la reducción de uso de materias primas, el ahorro energético y la minimización de la contaminación.

### **2.3 Origen y evolución del ACV**

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. Si bien el primer ACV fue realizado en 1969 para la Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos, y por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. Los estudios continuaron durante los años setenta, y diferentes grupos realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas y salidas incorporando cálculos de energía.

En Europa, estudios similares se realizaron en la década de los sesenta del siglo XX. En Gran Bretaña, se realizó un análisis de la energía consumida en la fabricación de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) de bebidas, pero no fue hasta los años ochenta que la aplicación del ACV se incrementó. En esa misma década fue cuando se desarrollaron dos cambios importantes: primero, los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales (tal como el calentamiento global y agotamiento de los recursos); y segundo, los estudios de ACV comenzaron a estar disponibles para uso público.

El análisis del ciclo de vida es una técnica relativamente nueva; su aplicación se hizo popular al inicio de los años noventa. Inicialmente, muchas personas pensaron que un ACV sería una herramienta útil para el apoyo de derechos ambientales a usarse en el marketing, más con los años se demostró que ésta no es la mejor aplicación para ACV, a pesar de que sea importante comunicar los resultados de ACV de una forma cuidadosa y bien balanceada. El ACV estudia los

aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida del producto, (es decir, de la cuna a la tumba), desde la adquisición de las materias primas hasta la producción, uso y disposición. Las categorías generales de aspectos ambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

## **2.4 Evaluación del impacto ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

El método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) fue el seleccionado en este trabajo para determinar los puntos críticos de los procesos de generación de electricidad, porque puede considerarse la mejor herramienta para evaluar la sostenibilidad de opciones tecnológicas, por considerar todos los efectos del proceso en las diferentes categorías como la salud humana, el ecosistema, y los recursos que puedan poner en peligro las presentes y futuras generaciones.

El ACV tiene por objeto evaluar las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso o actividad industrial, identificando y cuantificando las entradas y salidas y su objetivo final es identificar y evaluar oportunidades de mejora de los productos, procesos o actividades teniendo en cuenta los factores medioambientales apoyándose en diferentes categorías de impacto; además, estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un producto, proceso o actividad, desde la adquisición de las materias primas hasta la producción, uso y eliminación. Las fases de elaboración del ACV, a grandes rasgos, son:

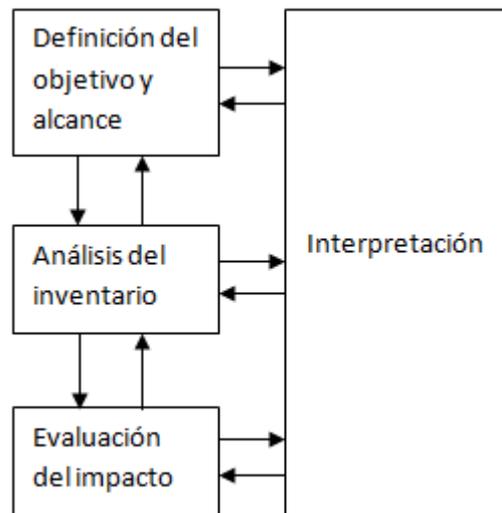
Recopilación de las entradas y salidas relevantes de un sistema (energía, materias utilizadas y residuos vertidos al medio), evaluación de los potenciales impactos ambientales asociados con estas entradas y salidas (uso de recursos, efectos sobre la salud humana, consecuencias ecológicas, etc.), y finalmente, interpretación de los resultados, y evaluación e implementación de prácticas de mejora ambiental.[36]

### 2.4.1 Etapas para realizar el ACV

Según [37], para realizar el ACV a un producto se debe definir el objetivo y alcance, realizar el análisis del inventario, la evaluación del impacto y la interpretación de los resultados.

A continuación la figura 2.1 muestra las fases de ciclo de vida de un proceso o producto en general.

**FIGURA 2.1. FASES DE UN ACV DE UN PRODUCTO O PROCESO EN GENERAL.**



A continuación se describe de forma simplificada cada una de las fases con que consta el ACV de acuerdo a la norma NC ISO 14040. 2009; se incluyen los motivos para llevar a cabo el estudio y la información que se espera obtener del trabajo.

#### 2.4.1.1 Alcance del estudio

El alcance del ACV consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio; de acuerdo a la norma NC ISO 14040. 2009; el alcance debe considerar y describir los siguientes puntos:

- Funciones del sistema en estudio.
- Selección de la unidad funcional, (debe estar claramente definida, ser medible y representativas de todas las entradas y salidas).
- Descripción del sistema en estudio.
- Establecimiento de los límites del sistema, (determinando lo que entra dentro del sistema en estudio y lo que se queda fuera).
- Hipótesis y limitaciones.
- Requisitos de calidad de los datos.

#### ***2.4.1.2 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida***

Esta fase conlleva la resolución de los balances de energía y de materia del sistema en estudio, de tal forma que los datos finales del inventario se recojan en tablas y estén referidos a una unidad funcional. Se trata de la fase del ACV que más tiempo lleva debido a que el número de parámetros a considerar es numeroso. El análisis del inventario de ciclo de vida (ICV) se basa en los principios del análisis de sistemas, definiéndose como sistema una serie de operaciones que efectúan una función definida con precisión. El resultado o producto de un sistema puede considerarse también como un servicio. Puede decirse que el interés en aplicar la evaluación del ciclo de vida para prevenir la contaminación ambiental, es permitir la selección de las operaciones relacionadas con un sistema cuya producción se realiza de la manera más eficaz al tomar en cuenta el ciclo de vida en su totalidad.[38]

#### ***2.4.1.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida***

La evaluación de impactos facilita la interpretación y combinación de los datos del inventario de formas más manejables y significativas para la toma de decisiones. En el enfoque orientado a los problemas, los datos del inventario se agregan según las contribuciones relativas a un número medible de preocupaciones medioambientales.

Esta fase hace corresponder cada parámetro obtenido en el Análisis de Inventario, con el potencial impacto ambiental a que da lugar. En esencia, la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida consiste en el desarrollo de las siguientes acciones:

- Elaboración de un inventario de categorías de impacto que pueden dar lugar las diversas cargas ambientales generadas por el sistema del producto (efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos, calentamiento global, respiraciones orgánicas e inorgánicas, etc.).
- Selección, para el sistema en estudio en función de los resultados del inventario, de las categorías de impacto que hay que considerar.
- Asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto a las que contribuyen, teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden producir más de un impacto.
- Cálculo de las contribuciones individuales de cada parámetro del inventario a un determinado impacto, calculándose posteriormente las contribuciones totales al mismo.
- Establecimiento de un orden de importancia entre los impactos considerados. Estas acciones se llevan a cabo a través de tres pasos: clasificación, caracterización y valoración

Para llevar a cabo la Evaluación de Impacto ambiental se utilizan metodologías de EIA enfocadas a ciclo de vida y se pueden usar software comerciales disponibles. En este caso se usará software Sima Pro. [39]

#### ***2.4.1.4 Evaluación o Interpretación***

Esta etapa consiste en la evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir las cargas ambientales asociadas con el consumo de energía, de materias primas y el impacto ambiental de las emisiones que tienen lugar durante el Ciclo de Vida de un producto, proceso o actividad. En esta etapa se combinan los resultados de las dos etapas anteriores (Análisis de Inventario y Evaluación de Impacto), con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones futuras.

Se pueden incluir propuestas cualitativas y cuantitativas de mejoras, como cambios en el producto, en el proceso, en el diseño, sustitución de materias primas, gestión de residuos, etc. De igual forma, pueden ir asociadas con las herramientas de prevención de la contaminación industrial, tales como; minimización de residuos, o rediseño de productos. [40]

Otro aspecto a considerar en la interpretación puede ser la selección de la tecnología más apropiada para obtener un mismo producto.

## **2.5 Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a los esquemas de generación de electricidad a partir del uso de las diferentes tecnologías.**

### ***2.5.1 Definición de objetivo y alcance***

#### ***2.5.1.1 Objetivo***

El objetivo de este estudio consiste en analizar y evaluar las diferentes alternativas de generación de electricidad a partir de la evaluación del impacto que estas pueden ocasionar sobre el medio ambiente, comparando las energías renovables con las energías tradicionales o no renovables, obteniendo las posibilidades que permitan seleccionar las mejores alternativas especialmente en lugares remotos que se encuentran distantes de una conexión a una red de un sistema de energía eléctrica.

#### ***2.5.1.2 Alcance***

#### **Definición del sistema en estudio para las diferentes variantes de generación eléctrica**

En el presente trabajo la generación de energía eléctrica se considera a través de dos fuentes:

La primera alternativa son las fuentes de energías renovables, entre las cuales se consideran: la energía eólica, solar fotovoltaica, hidráulica y la energía a partir de la biomasa las cuales para la generación de energía eléctrica utilizan recursos que se encuentran en la naturaleza y son inagotables; la segunda alternativa considerada es la generación de energía eléctrica a partir de un grupo electrógeno que utiliza recursos de la naturaleza que a corto mediano o largo plazo se agotan (fuentes no renovables).

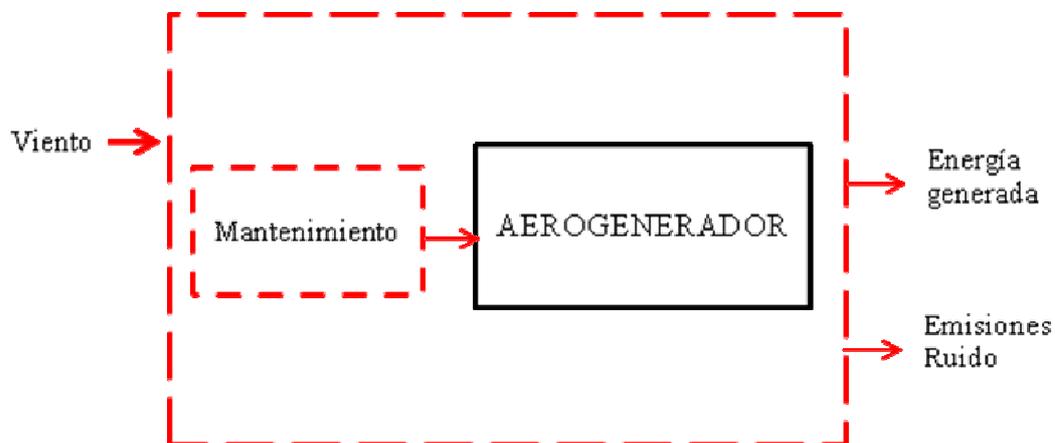
Es importante describir que el alcance de este estudio contempla únicamente la fase de generación de electricidad quedando excluidas la fase de construcción de infraestructura, transporte y distribución de la misma; a modo de ejemplo de la aplicación de esta metodología se utiliza en este capítulo fuentes no reales con el caso final bajo estudio.

**Unidad funcional.** La unidad funcional que se toma en cuenta, es la producción de 1 MW-h para todas las alternativas de generación de electricidad, pudiendo esta ser modificada en función del objetivo de estudio.

**Límites del sistema.** En los diagramas que se presentan a continuación se especifica los límites del sistema para realizar el análisis de ciclo de vida y las emisiones que emanan la generación de electricidad mediante las diferentes tecnologías.

**Energía eólica.** En la figura 2.2 muestran los límites del sistema que se tiene en cuenta en esta tecnología para realizar el ACV de generación eléctrica; la energía eólica sólo considera las acciones causadas por mantenimiento, limpieza y área del predio, pues este se mantiene desde su etapa de construcción. En este estudio no se considera la fase de obtención de materias primas para la fabricación de sus componentes, construcción de infraestructura, transporte y otros.

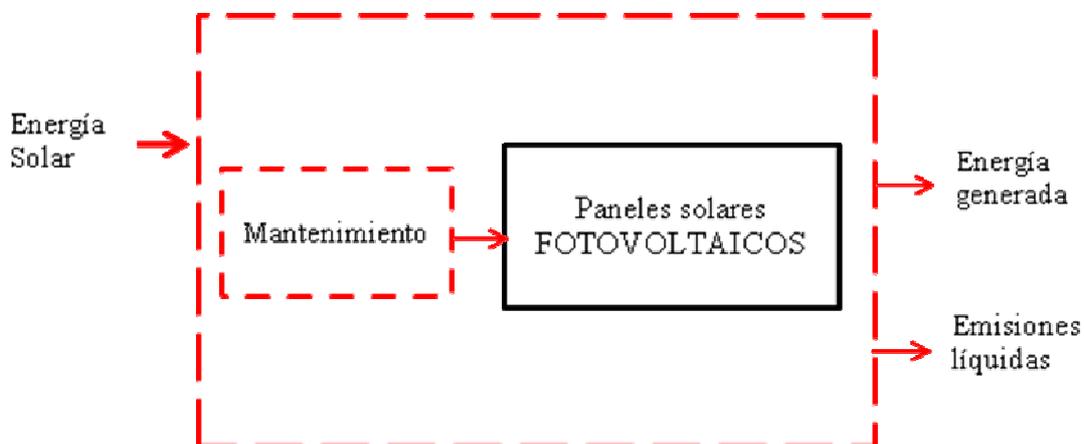
**FIGURA 2.2. DIAGRAMA DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**



### **Energía solar fotovoltaica**

La figura 2.3 muestra los límites del sistema que tiene en cuenta esta tecnología para realizar el ACV en la generación de energía eléctrica: en esta energía a considerar acciones causadas por mantenimiento, limpieza y área del predio, quedando excluidas la obtención de materias primas para la fabricación de sus componentes, construcción de infraestructura, transporte y otros.

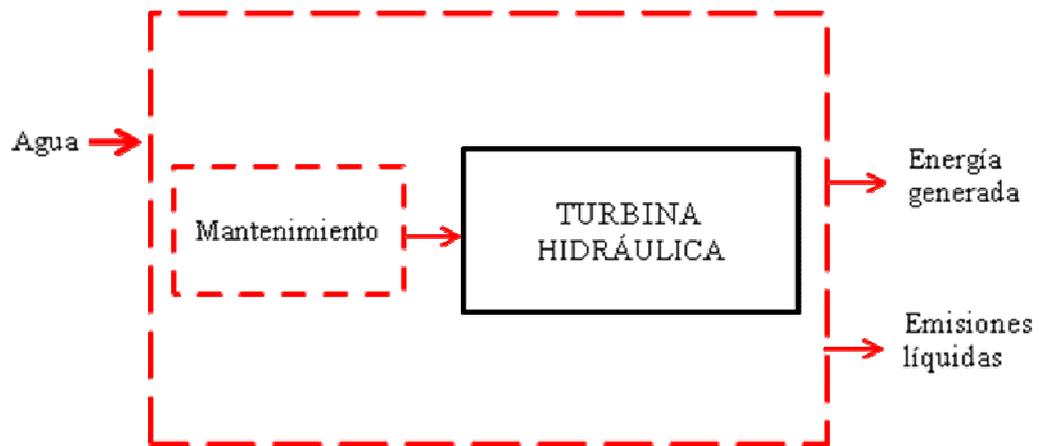
**FIGURA 2.3. DIAGRAMA DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**



## Energía hidráulica

En la figura 2.4 se muestra los límites del sistema que se tomó en consideración para realizar el ACV en esta variante, para la generación de energía eléctrica. Al igual que las otras tecnologías esta sólo considera acciones causadas por mantenimiento, limpieza y área del terreno quedando excluidas las fases obtención de materias primas para la fabricación de sus componentes, construcción de infraestructura y distribución de la misma.

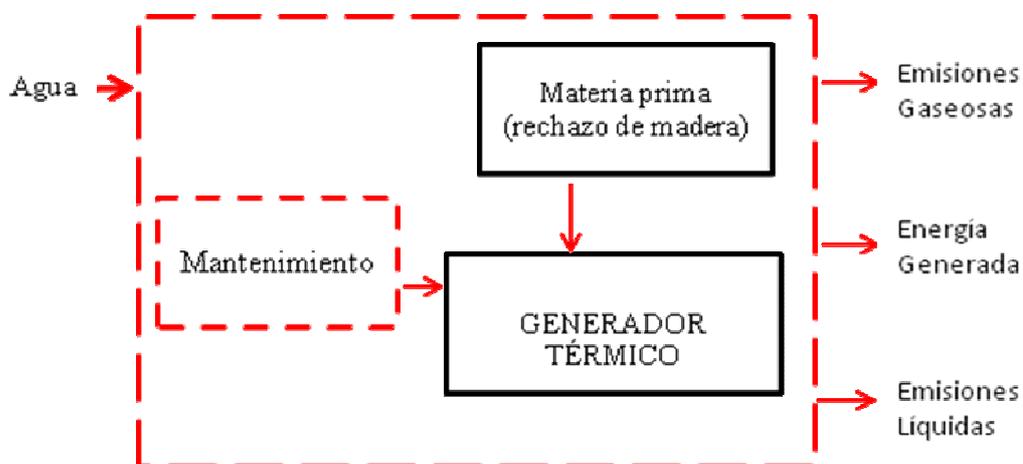
**FIGURA 2.4. DIAGRAMA DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**



## Energía a partir de la biomasa

La figura 2.5 muestra los límites del sistema que se considera para realizar el ACV y las emisiones para el ciclo de vida con esta tecnología en la fase de generación de electricidad; se tomó en cuenta el mantenimiento y limpieza del generador, quedando excluidas: la obtención de materias primas para la combustión, construcción de infraestructura, transporte y otras.

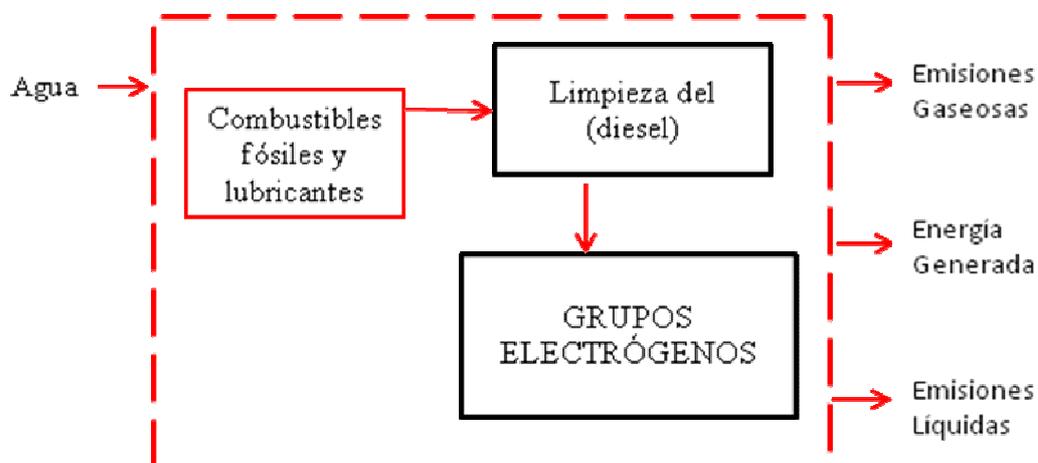
**FIGURA 2.5. DIAGRAMA DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**



### **Energía con grupo electrógeno**

En la figura 2.6 se muestran los límites del sistema; esta variante considera limpieza del diesel, mantenimiento y limpieza del grupo electrógeno, mientras que no se considera la transportación del combustible desde su obtención hasta los tanques de suministro de diesel para el grupo generador, construcción de infraestructura transporte y otras.

**FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**



## **Tipo de impacto a evaluar, metodología e interpretación**

Para realizar el análisis de ciclo de vida en este estudio se utiliza el software denominado Sima-Pro versión 7.1. Empleando el método del eco indicador 99, que toma en consideración 11 categorías de impactos que son: carcinogénesis, respiración de orgánicos, respiración de inorgánicos, cambio climático, radiación, capa de ozono, eco-toxicidad, acidificación, uso del suelo, minerales y combustibles fósiles, y considera 3 categorías de daños que son: salud humana, calidad del ecosistema y recursos; mediante este método se analiza el impacto de cada tecnología considerada al medio ambiente durante el ciclo de vida en la fase de generación de energía eléctrica y seleccionar la más atractiva para el caso del estudio considerado.

## **Requisitos de la calidad de datos**

Los datos de inventario se obtuvieron de diferentes fuentes, ya que el inventario es la etapa más larga y compleja para el ACV; no obstante se intentaron obtener valores de máxima calidad. A continuación se especificará cada uno de ellos para las diferentes variantes.

**Energía eólica.-** El inventario de datos de esta variante fue proporcionada por un equipo de trabajo que opera un grupo de aerogeneradores eólicos que se encuentran en funcionamiento en México.

**Energía solar fotovoltaica.-** El inventario de datos para esta tecnología fue obtenido de los procesos de la base de datos de Ecoinvent analizando detalladamente los casos que más se asemejan a los de Ecuador, ya que no existen datos disponibles de otras fuentes; además se procedió a modificar el inventario dejando fuera todos los procesos que se refieren a construcción de infraestructura.

**Energía hidráulica.-** Para la obtención del inventario de datos de esta variante también fueron utilizados los procesos de la base de datos de Ecoinvent analizando también los casos que más se asemejan a las condiciones de Ecuador y

al igual que la tecnología anterior se procedió a modificar el inventario dejando fuera los procesos que incluyen la construcción de la infraestructura para esta variante.

**Energía generada con grupo electrógeno.-** El inventario para esta variante se obtuvo mediante la facilitación de un estudio realizado por la facultad de Química Farmacia de la Universidad Central de Las Villas de Santa Clara para grupos electrógenos de esta ciudad, donde se realizaron balances de masa y energía para la unidad funcional establecida, y otros datos que fueron obtenidos de la base de datos de Ecoinvent; como se menciona anteriormente, para todas las variantes expuestas se ha considerado sólo la fase de generación, quedando excluidas la fase de construcción de infraestructura y en algunos casos transporte.

**Energía a partir de la biomasa.-** El inventario para esta variante se tomaron procesos de la base de datos de Ecoinvent realizándose un trabajo de casos para llevarlos a las condiciones de Ecuador ya que no existen inventarios disponibles de otras fuentes, y al igual que los casos anteriores se procedió a modificar el inventario dejando fuera los procesos que incluyen la construcción de la infraestructura; tampoco se consideró el transporte de materias primas para la producción de electricidad desde los puntos de obtención hasta el lugar que se encuentra situado el generador térmico.

### ***2.5.2 Análisis del inventario***

Para realizar el análisis de inventario de ciclo de vida (ICV), es necesario cuantificar el consumo de materias primas, energía, residuos sólidos, vertidos al agua y emisiones a la atmósfera; en cada caso se especifica la unidad funcional de acuerdo a la disponibilidad de datos de inventario. La confiabilidad del inventario depende de los datos obtenidos pudiendo hacerse estimaciones y estos pueden ser aproximados o simplificados; los datos de esta fase se calcularon en función de masa y energía, y se presentan como entradas y salidas. En los anexos A, B, C, D y E muestran los inventarios que se utilizan para las diferentes variantes.

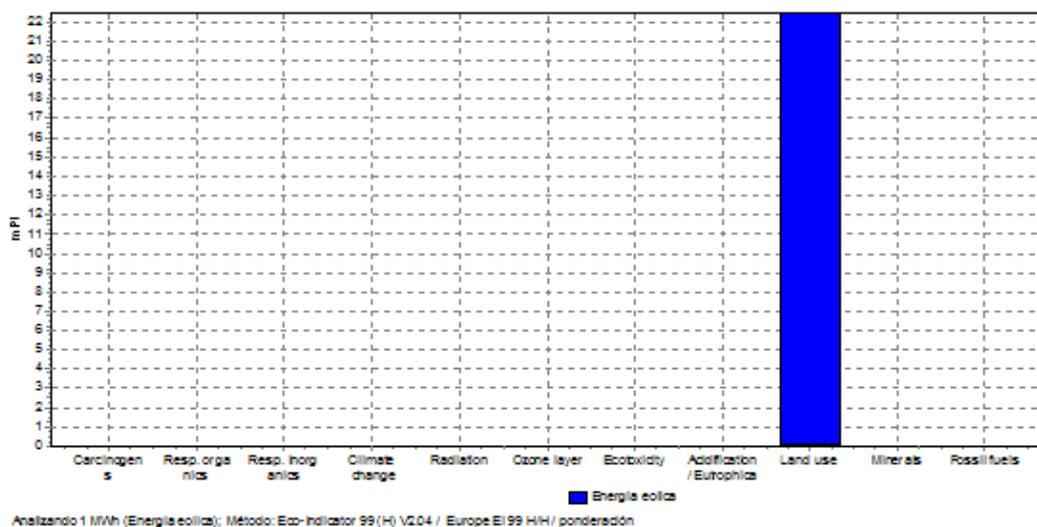
### 2.5.3 Evaluación del impacto. Caracterización y valoración

En esta fase se utiliza el programa mencionado anteriormente ingresando los datos del inventario de entradas y salidas dando como resultado la evaluación de impacto de las diferentes variantes en estudio, lo que permitirá realizar la interpretación de los resultados y analizar la contribución de las etapas de generación de electricidad con enfoque de ciclo de vida a las distintas categorías de impactos y de daños según el eco indicador 99; las mismas están expresadas en puntos de generación de energía, y además los resultados también pueden ser expresados mediante tablas obtenidas en el programa.

#### Análisis de ponderación del proceso por categorías de impacto y daños de la energía eólica

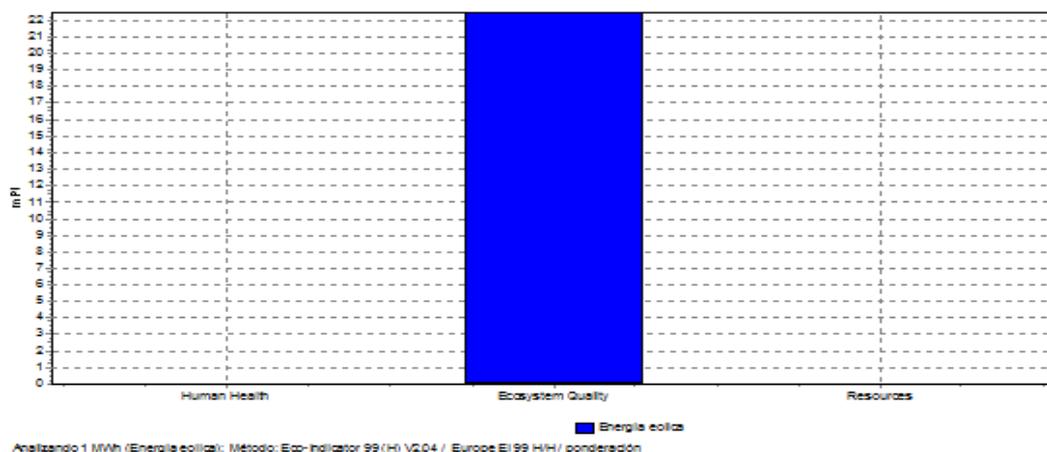
En las figuras 2.7 y 2.8 se muestran la contribución de la generación de 1 MW-h de energía eólica sobre las categorías de impactos y daños respectivamente, como se puede apreciar las etapas de análisis de ciclo de vida están expresadas en mili puntos.

**FIGURA 2.7. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTOS UTILIZANDO ENERGÍA EÓLICA**



Como se puede observar en la figura 2.7 la etapa de generación de energía analizada tiene su mayor influencia sobre el uso del terreno, esto es causado porque, aunque no se tomó en consideración la etapa de construcción de infraestructura, transporte y otras, existen ciertas acciones que son de otras etapas del ciclo de vida pero se mantienen durante la etapa de generación de electricidad, que como se aprecia es la ocupación y transformación del terreno, debido a que esta tecnología requiere de un área determinada de terreno para la ubicación de máquinas (aerogeneradores) y esta situación causa impactos negativos que repercuten sobre la fase de generación de energía eléctrica; en las demás categorías de impactos restantes sus valores son poco o no tienen valor significativo, porque la generación eólica no contribuye al cambio climático, ni a la respiración de orgánicos e inorgánicos, que afecten a la salud humana, ya que para su funcionamiento no utiliza minerales o combustibles fósiles, la energía primaria que requiere para el proceso de generación eléctrica es el viento, siendo este un recurso limpio y renovable.

**FIGURA 2.8. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO ENERGÍA EÓLICA**



En la figura 2.8 se puede observar claramente la contribución de generación de energía eólica a las diferentes categorías de daños, (expresadas en mili puntos de generación de energía); la mayor influencia se observa sobre la calidad del ecosistema y esto se debe a que para generar electricidad mediante esta tecnología la principal acción impactante es por el uso del terreno, ya que este en muchas ocasiones deja de ser utilizado para el cultivo de productos u otros usos y pasa a

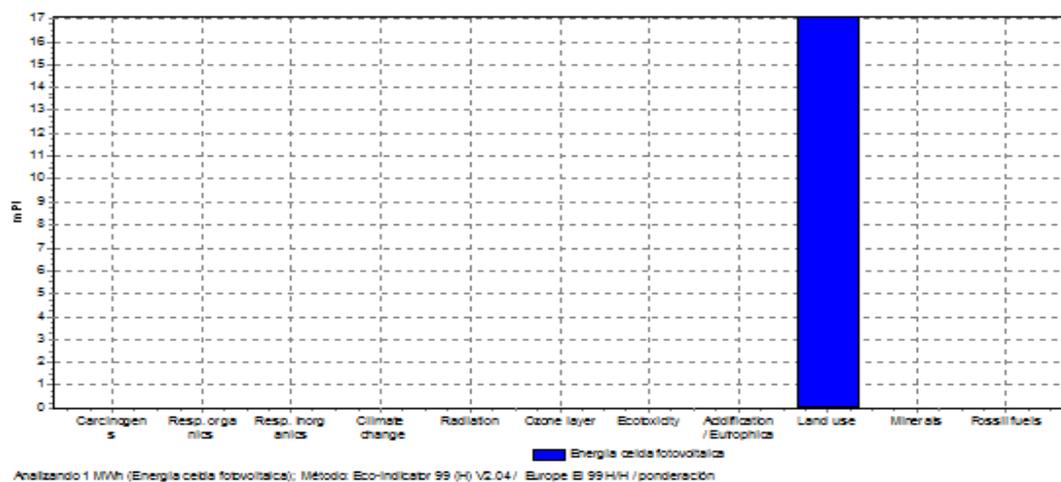
utilizarse por equipos de generación eléctrica, causando daño a la flora y fauna existente en el sector que se sitúan dichas máquinas; las demás categorías de daños tienen valores que tienden a cero son nada significativas.

No afecta a la categoría de recursos porque la energía eólica utiliza un recurso que existe en la naturaleza considerada renovable, y no afecta a la categoría de la salud humana ya que ésta tecnología en la fase de generación de electricidad no emite gases contaminantes a la atmósfera. No obstante cabe mencionar que como se observa en el gráfico los impactos no solo son por causa de emisiones gaseosas contaminantes a la atmósfera que contribuyan al cambio climático, causen daño a la salud o agoten los recursos, sino que además puede afectar a diferentes factores de la naturaleza, y en esta ocasión es la calidad del ecosistema; posteriormente se observará la necesidad de tomar en cuenta todo este análisis para poder realizar la comparación con las demás tecnologías restantes.

### **Análisis de ponderación del proceso por categorías de impacto y daños de la energía solar fotovoltaica**

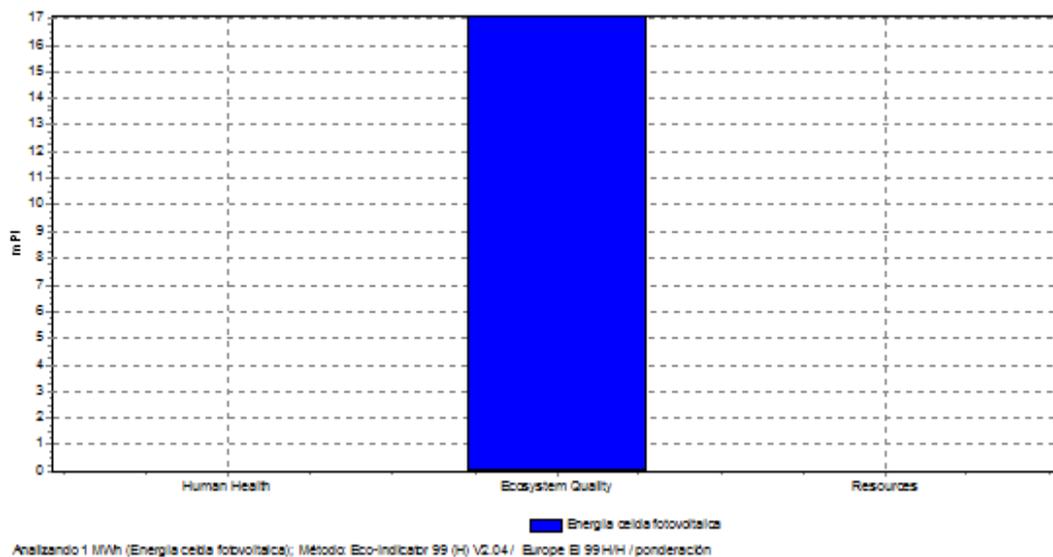
En las figuras 2.9 y 2.10 que se observan a continuación muestran la contribución de la generación de 1 MW-h de energía solar fotovoltaica sobre las categorías de impactos y daños respectivamente, (también expresadas en mili puntos).

**FIGURA 2.9. CONTRIBUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE 1 MW-H DE ENERGÍA SOLAR A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**



La figura 2.9 muestra que la etapa de generación de energía tiene mayor influencia sobre la categoría del uso del terreno dentro de las categorías de impacto; esto se debe a que para generar electricidad mediante esta tecnología se requiere de un área determinada de terreno para la ubicación de los paneles fotovoltaicos, causando impacto por uso y transformación del terreno; en el resto de las categorías sus valores son poco significativos, no afecta a la respiración de orgánicos e inorgánicos ni contribuye al cambio climático porque en la etapa de generación de energía no produce gases contaminantes de ningún tipo a la atmósfera. El mantenimiento de esta forma de energía es muy bajo, diferenciándose así de las demás tecnologías ya que al no contar con partes móviles o rodantes no es necesaria la acción del hombre, los paneles solares requieren únicamente de limpieza periódica del polvo y la humedad.

**FIGURA 2.10. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR**



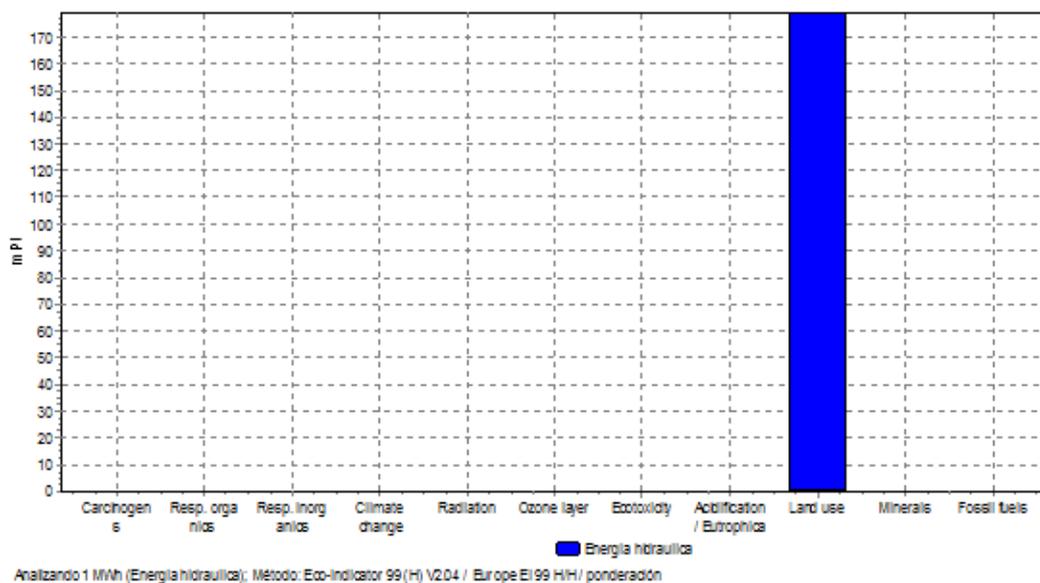
En la figura 2.10 se presentan los resultados de las categorías de daños y como se puede observar la contribución de generación de energía solar fotovoltaica tiene la mayor influencia sobre la categoría de calidad del ecosistema (al igual que la energía eólica) debido al uso del suelo, ya que este en muchas ocasiones deja de utilizarse para el cultivo de productos o incluso viviendas y pasa a ser ocupado por los paneles solares, destruyendo a la flora y fauna que se encuentran en el sitio de la ubicación.

En las demás categorías no tiene valor significativo, no afectando la categoría de la salud humana porque una vez que los paneles solares son instalados generan electricidad hasta el fin de su vida útil sin emitir gases de efecto invernadero u otros contaminantes que contribuyan al cambio climático. Los riesgos potenciales de impactos a la salud humana y el entorno, asociados con la emisión de metales pesados como cadmio y selenio debido a incendios o destrucción de los paneles, son prácticamente nulos, y además no afecta la categoría de recursos porque utiliza un recurso renovable.

### Energía hidráulica

En las figuras 2.11 y 2.12 que se presentan a continuación muestran la contribución de la generación de 1 MW-h de energía hidráulica sobre las categorías de impactos y daños respectivamente (expresadas en mili puntos).

**FIGURA 2.11. CONTRIBUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO UTILIZANDO ENERGÍA HIDRÁULICA.**

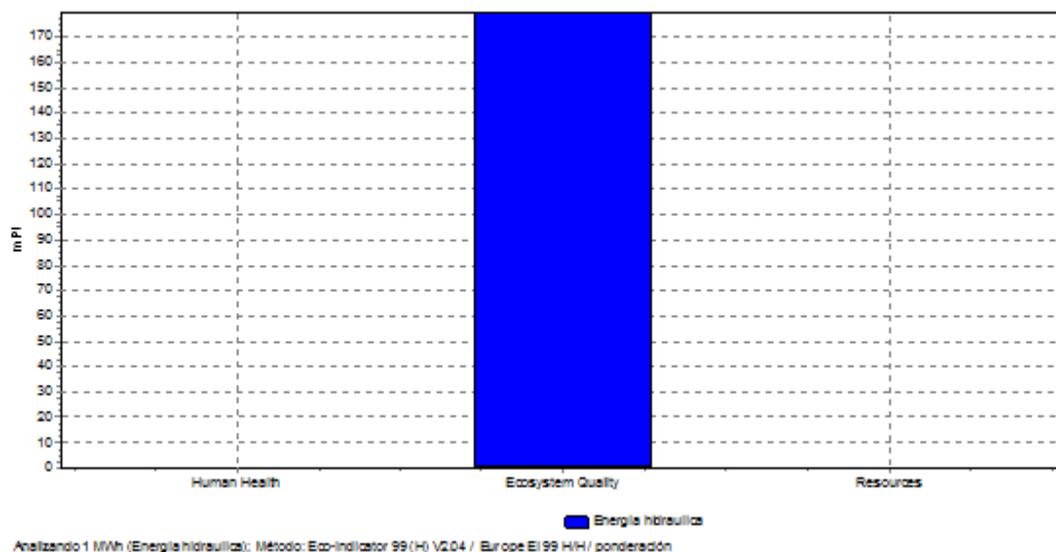


Como se puede apreciar en el gráfico de la figura 2.11 la etapa de generación de electricidad mediante energía hidráulica tiene mayor influencia en la categoría de uso del terreno; esta categoría incluye dos elementos fundamentales, la ocupación

y la transformación del mismo, debido a que para la generación de electricidad mediante esta tecnología se ocupa una cantidad determinada de terreno, transformándola durante la vida útil de la central, porque se requiere de construcción de represas para embalsar el agua, afectando a la flora y fauna existente en dicho sector y aunque el uso del terreno es a su vez producto de otras fases que conlleva el ciclo de vida, sin embargo se mantiene durante la fase de generación de energía eléctrica.

Las demás categorías son relativamente inapreciables, no emite gases contaminantes a la atmósfera que contribuyan al cambio climático, ni a la respiración de orgánicos e inorgánicos que afecten a la salud humana, porque para la producción de electricidad utiliza un recurso renovable no contaminante que es el agua; las demás categorías son poco significativas, pero sin embargo serán tomadas en consideración su importancia para en lo posterior poder hacer un análisis por categoría de impacto si estas así lo requieran.

**FIGURA 2.12. CONTRIBUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO ENERGÍA HIDRÁULICA.**



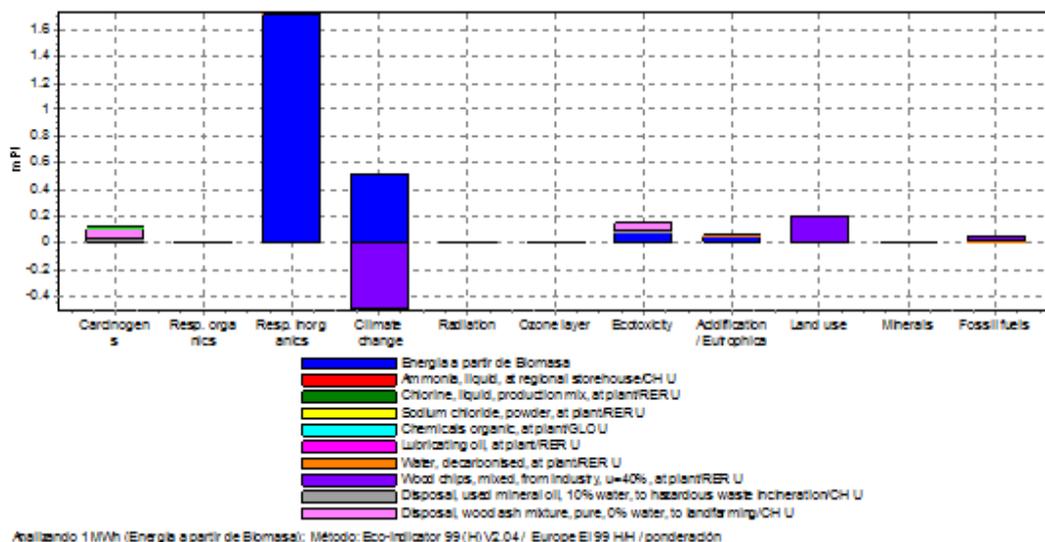
En la figura 2.12 la mayor contribución de la generación de energía eléctrica a partir la energía hidráulica en las categorías de daños, está dada sobre la categoría de la calidad del ecosistema; esto básicamente se da nuevamente por el uso del

terreno ya que para la generación eléctrica mediante esta tecnología se requiere de un espacio de tierra que en muchas ocasiones deja de ser utilizada para la producción de cultivos u otros usos y pasa a utilizarse por embalses y casas de máquinas hidráulicas, causando daño a la flora y fauna existente en aquel lugar. No afecta a la categoría de recursos por que la energía primaria que utiliza para la generación de electricidad es el agua y este es un recurso que se encuentra en la naturaleza con su principal característica de que es limpia y renovable, tampoco afecta a la categoría de la salud humana ya que dicha tecnología en la fase de generación de energía eléctrica no emite gases contaminantes a la atmósfera que son producto de una combustión, teniendo estas categorías un valor prácticamente cero.

### Análisis de ponderación del proceso por categorías de impacto y daños de la energía a partir de la biomasa

En las figuras 2.13 y 2.14 muestran la contribución de la generación de 1 MW-h de energía a partir de la biomasa sobre las categorías de impactos y daños respectivamente (expresadas en mili puntos).

**FIGURA 2.13. CONTRIBUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE 1 MW-H DE ENERGÍA A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO UTILIZANDO ENERGÍA A PARTIR DE LA BIOMASA**



Como se puede apreciar en la figura 2.13 al evaluar la contribución de generación de energía eléctrica a partir de la biomasa, la principal influencia está dada sobre la respiración de inorgánicos, debido a que en esta categoría el mayor impacto es por las emisiones de gases a la atmósfera debido a la combustión de la biomasa utilizada en la generación de energía eléctrica; dentro de esta categoría las sustancias que principalmente afectan son el monóxido y dióxido de carbono (CO y CO<sub>2</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y otros en menor cuantía. Esto se debe a que para la producción de electricidad mediante esta tecnología la materia prima que utiliza en el proceso de generación, emana gases contaminantes a la atmósfera que son producto de la combustión que existe en el caldero del generador.

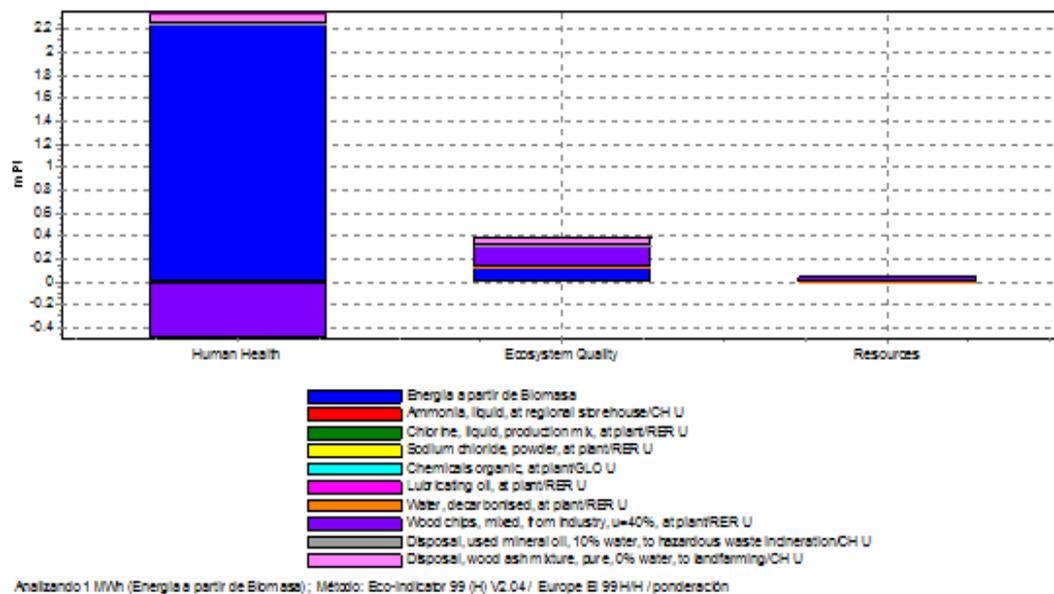
Además tiene influencia en la categoría de cambio climático, por la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que son producto del proceso de combustión en la caldera del generador por los residuos maderables, y que son emitidos a la atmósfera; en este análisis se puede apreciar algo muy importante y es que la barra de puntuación de la categoría del cambio climático tiene también una puntuación negativa.

Ello se debe a que los desechos de la madera (causante de la emisión del principal gas contaminante en el proceso) provienen de los árboles, y al momento que estos gases salen a la atmósfera se considera que las plantas y los mismos árboles (biomasa) absorben este CO<sub>2</sub>, quedando con un efecto nulo.

Claro está que este es un recurso que existe en la naturaleza y está considerado como limpio y renovable, siempre y cuando el consumo no sobrepase la producción del mismo, es decir, que si se utiliza desechos de plantas estas deben ser recultivadas.

En las demás categorías de impactos se obtiene valores poco significativos debido a lo explicado anteriormente; no obstante se deben tomar en cuenta para la comparación con las demás variantes.

**FIGURA 2.14. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO ENERGÍA A PARTIR DE LA BIOMASA**



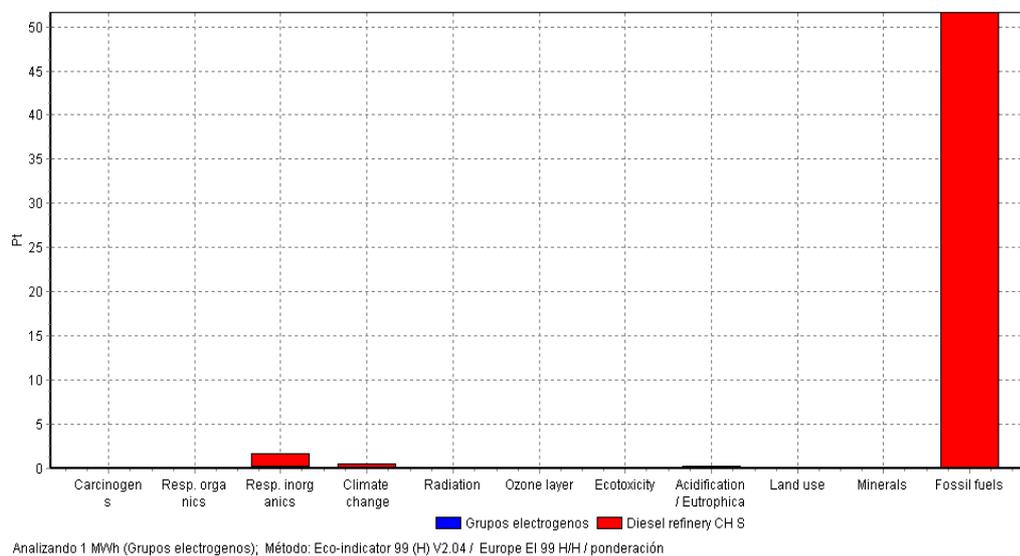
Por otro lado y como muestra la figura 2.14, la generación de electricidad a las categorías de daños con energía a partir de la biomasa tiene la mayor influencia sobre la categoría de la salud humana debido a que para la producción de electricidad se queman residuos de madera y ello ocasiona la emisión de gases contaminantes a la atmósfera (principalmente respiración de inorgánicos), afectando a la salud humana; el resto de etapas tienen valores poco significativos.

Cabe mencionar que la madera es un biocombustible, pero no deja de tener emisiones y, aunque es en mínima proporción, causa un impacto negativo al medio ambiente. No afecta a la categoría de recursos en gran proporción ya que la materia prima utilizada para generación está considerada como un recurso renovable, ni tiene mayor influencia dentro de la categoría de la calidad del ecosistema ya que sus valores son poco significativos por que no tiene emisiones de gran consideración al agua, al suelo ni ocupa un espacio de terreno de consideración.

## Análisis de ponderación del proceso por categorías de impacto y daños de energía a partir de grupos electrógenos

En las figuras 2.15 y 2.16 que se presentan a continuación se muestran la contribución de la generación de 1 MW-h de energía a partir de grupos electrógenos sobre las categorías de impactos y daños respectivamente, (expresadas en puntos).

**FIGURA 2.15. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTOS UTILIZANDO GRUPOS ELECTRÓGENOS**



Como se puede apreciar en la figura 2.15 la mayor influencia es causada por el uso del diesel en la categoría de combustibles fósiles debido a que para la producción de electricidad mediante grupos electrógenos la materia prima principal del proceso utilizada es este combustible y el mismo proviene de la naturaleza y está considerado como un recurso no renovable, se observa un menor valor significativo en las restantes categorías. Se observa además influencia sobre la respiración de inorgánicos, ya que esta categoría el mayor impacto está dado por las emisiones de gases a la atmosfera producto de la combustión del diesel y dentro de esta categoría, las sustancias que principalmente afectan son los

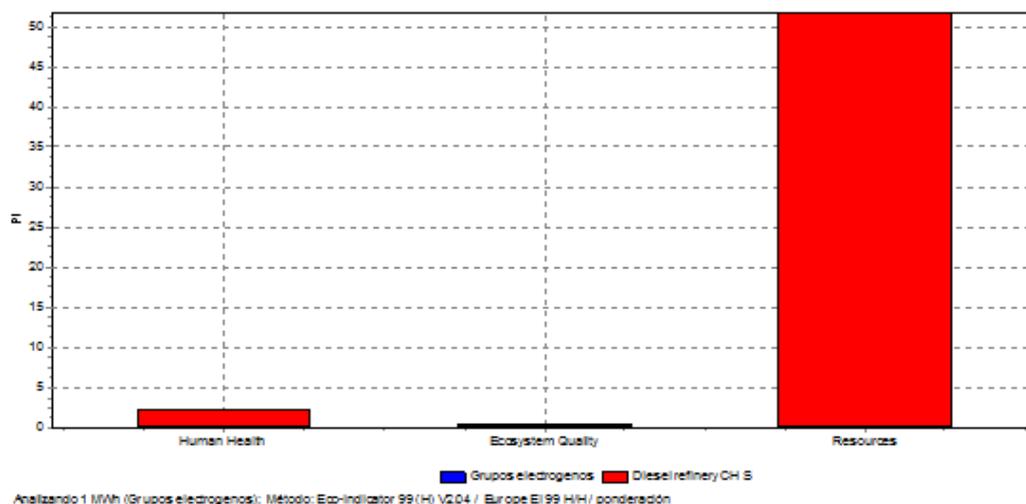
hidrocarburos, el monóxido y dióxido de carbono (CO y CO<sub>2</sub>), los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y otros en menor cuantía.

En la categoría de cambio climático el mayor impacto es provocado por el empleo de combustibles fósiles, debido a todos los compuestos que son emitidos a la atmósfera en el proceso de generación de electricidad durante la combustión en la caldera del generador.

Los sistemas térmicos clásicos basados en los combustibles fósiles, lignito, carbón, petróleo y gas natural contribuyen en un 99 % al calentamiento global provocado por las tecnologías de generación de electricidad, siendo la causa principal las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que ocurren durante la etapa de combustión.

La etapa de generación de electricidad también tiene influencia sobre la categoría de uso del suelo debido a que como se especificó anteriormente existen diferentes etapas en el análisis del ciclo de vida como es la fase de infraestructura para construcción o transporte y algunas de estas se mantienen durante la operación y son consideradas durante la fase de generación de energía.

**FIGURA 2.16. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO ENERGÍA GRUPO ELECTRÓGENO**

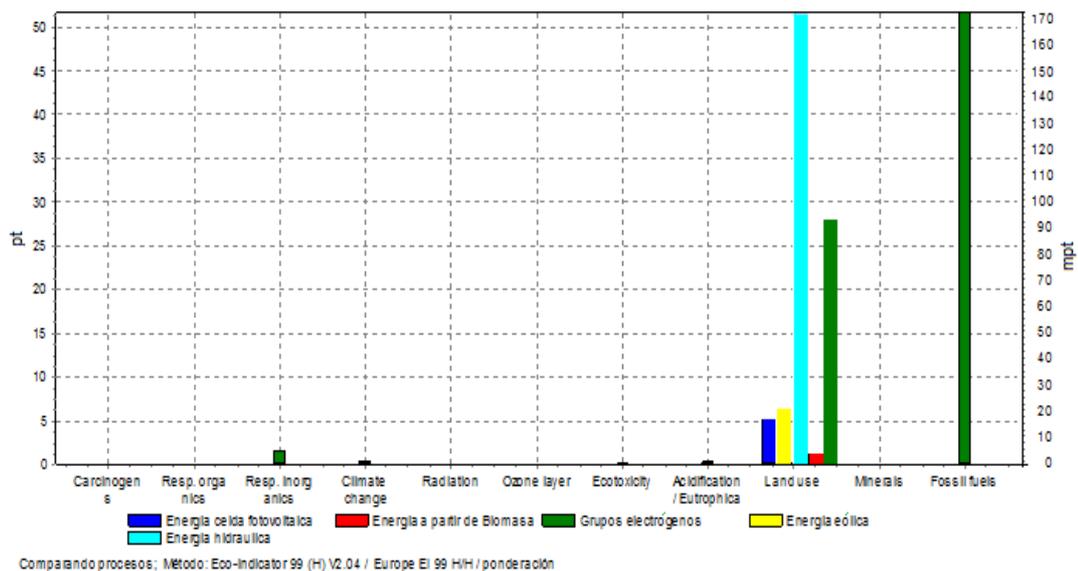


Como se puede apreciar en la figura 2.16 la mayor contribución de la generación de energía con grupos electrógenos a las categorías de daños se observa sobre la categoría recursos debido al consumo del diesel; este combustible es un recurso que se encuentra en la naturaleza pero se considera no renovable. En contribución le sigue la categoría de la salud humana debido a la contaminación atmosférica producto de las emisiones de gases de la combustión principalmente respiración de inorgánicos, que afectan a la salud de las personas y contribuyen además al cambio climático; y una menor influencia se observa sobre la calidad del ecosistema, aportes que se deben a los diferentes fluidos que emiten al ecosistema (aire, agua, suelo) y al uso del terreno.

### Análisis de ponderación de procesos por categorías de impactos y daños de energía comparando todas las variantes

En la figura 2.17 y la tabla 2.1 se muestran la contribución de la generación de 1 MW-h a las categorías de impacto, utilizando todas las tecnologías en estudio en cada una de las barras de la figura se puede apreciar la contribución de las diferentes variantes el análisis de ciclo de vida están expresadas en puntos y mili puntos.

**FIGURA 2.17 COMPARANDO LA GENERACIÓN DE 1 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTOS UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES**



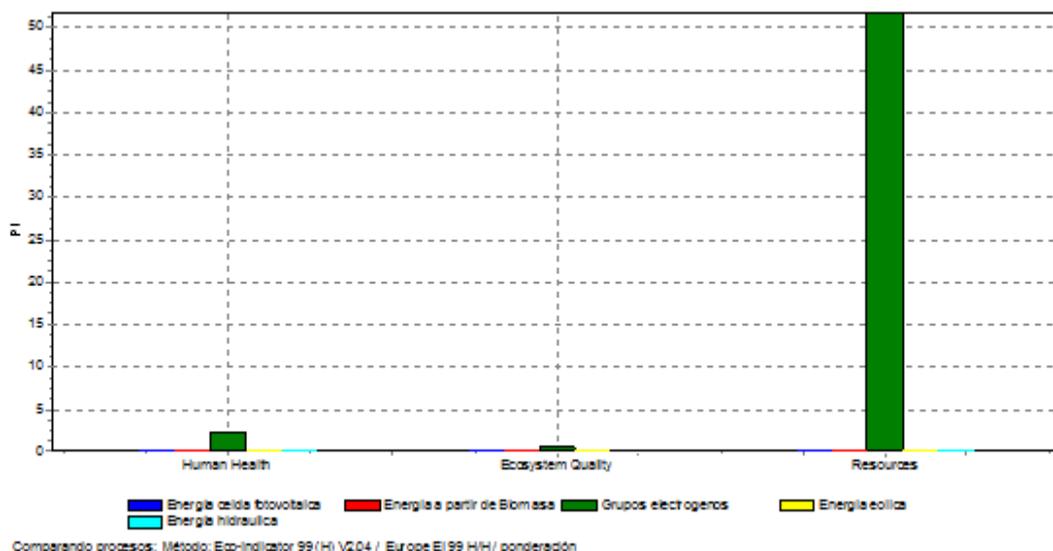
En la figura 2.17 gráficamente se observa que la energía generada a partir de grupos electrógenos tiene una mayor influencia al evaluar las diferentes categorías de impactos; en particular su influencia mayor se refleja sólo la categoría de combustibles fósiles, ya que este se considera un recurso no renovable; en lo que respecta las energías renovables se observa que su mayor contribución está dada sobre el uso del terreno (en el lado derecho de la figura se puede apreciar la puntuación de cada variante), ya que estas en su mayoría se manifiestan en mili y micro puntos. En la tabla 2.1 se puede apreciar sus valores de contribución de cada variante.

**TABLA 2.1. COMPARACIÓN DE GENERACIÓN DE 1MW-H A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTOS UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES**

Título:	Comparando procesos					
Método:	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/H					
Indicador:	Ponderación					
Por categoría de impacto:	Sí					
Omitir categorías:	Nunca					
Modo relativo:	No					
Categoría de impacto	Unidad	E. Fotovoltaica	E. Biomasa	G. Electrógenos	E. Eólica	E. Hidráulica
Total	Pt	0,02	0,002	54,31	0,02	0,18
Carcinogenesis	Pt	0	0,0001	0,07	0	0
Resp. Orgánica	Pt	0	2,4507E-07	0,05	0	0
Resp. Inorgánica	Pt	0	0,00173234	1,61	0	0
Cambio climático	Pt	0	7,2014E-06	0,46	0	0
Radiación	Pt	0	3,147E-07	0,01	0	0
Capa de ozono	Pt	0	1,3687E-09	0,02	0	0
Ecotoxicidad	Pt	0	0,00014922	0,13	0	0
Acidificación	Pt	0	5,412E-05	0,25	0	0
Uso del terreno	Pt	0,02	0,00018662	0,09	0,02	0,18
Minerales	Pt	0	5,3265E-08	0,02	0	0
Combustibles fósiles	Pt	0	3,9376E-05	51,61	0	0

Por otro lado en la figura 2.18 y en la tabla 2.2 puede observarse también el efecto del grupo electrógeno sobre la categoría de recursos, la cual se destaca sobre el resto de las contribuciones de las demás categorías de daños ofrece el propio grupo electrógeno y el resto de las fuentes energéticas analizadas, debido a las mismas consecuencias citadas anteriormente (uso de combustibles fósiles).

**FIGURA 2.18. COMPARANDO LA GENERACIÓN DE 1 MW-h A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES EN ESTUDIO**



**TABLA 2.2. COMPARACIÓN DE GENERACIÓN DE 1MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES**

Título:	Comparando procesos					
Método:	Eco-índice 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/H					
Indicador:	Ponderación					
Por categoría de impacto:	No					
Omitir categorías:	Nunca					
Modo relativo:	No					
Daño de categoría	Unidad	E. Fotovoltaica	E. Biomasa	G. Electrógenos	E. Eólica	E. Hidráulica
Total	Pt	0,02	0,00228865	54,31	0,02	0,18
Salud humana	Pt	0	0,00185927	2,21	0	0
Calidad del ecosistema	Pt	0,02	0,00038995	0,48	0,02	0,18
Recursos	Pt	0	3,943E-05	51,63	0	0

### 2.5.4 Evaluación o interpretación

Como puede apreciarse en este estudio una característica común que presentan las diferentes fuentes de energías renovables es que la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y otros contaminantes, surgen de otras etapas del ciclo de vida que no corresponden a la etapa de generación eléctrica, y si se observa que el impacto sobre el uso del terreno se mantiene durante la etapa analizada.

Sin embargo la energía eléctrica generada con grupos electrógenos causa mayor impacto sobre el medio ambiente precisamente en la etapa de generación analizada teniendo como su principal causa el uso del combustible fósil que es el diesel afectando a los recursos de la naturaleza considerados como no renovables.

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA DE PROYECTO PARA SOLUCIONAR EL CASO DE UNA COMUNIDAD SIN ACCESO A ELECTRICIDAD**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se pretende analizar el impacto ambiental que puede causar la instalación de equipos de generación eléctrica para proveer de electricidad a una comunidad modelo sin acceso a la red de un sistema eléctrico, continuando con la metodología ya descrita en el capítulo previo a este.

El objetivo final de este trabajo es conocer el comportamiento de cada variante que permita enfocar a una posible solución para poder incrementar el servicio de electrificación a ciertos sectores que no cuentan con energía eléctrica evitando causar el menor impacto posible. Para este análisis se realiza un dimensionamiento preliminar para cada tecnología.

#### **3.2 Presentación del caso**

La comunidad que se va analizar se refiere a una comunidad modelo, que puede estar presente en una zona determinada del Ecuador; para este caso se ha tomado como referencia un sector de la región insular, por cumplir con ciertos beneficios climatológicos siendo sus características principales la radiación solar que existe en estos sectores de una forma estable, así como también aprovechar de las corrientes a aire que son de gran interés para desarrollar la generación de energía eléctrica mediante generadores eólicos y el uso de grupos electrógenos que pueden instalarse en diferentes regiones del país.

**TABLA 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS**

<b>Equipos</b>	<b>Tensión (V)</b>	<b>Potencia de consumo (W)</b>	<b>No. Equipos</b>	<b>Promedio de uso al mismo tiempo</b>
Bombillos	110	40	75	0,8
Lámparas	110	25	30	1,0
TV	110	150	30	1,0
Refrigeradores	110	115	25	0,5
Ventiladores	110	30	10	0,8
Aires acondicionados	220	1500	5	0,2
Radios	110	5	27	0,8
Grabadoras	110	15	15	0,8
Lavadoras	110	180	16	0,5
Planchas	110	1000	39	0,2
Computadoras	110	200	10	0,5

### **Características de la comunidad**

La comunidad en estudio consta de 45 viviendas y las mismas poseen aparatos y equipos de uso doméstico como televisores, refrigeradores, bombillas, radios y ventiladores. Los equipos que están en existencia demandan un consumo de electricidad y en la tabla 3.1 se presentan las características fundamentales con la que cuenta cada uno de los equipos.

### **3.3 Metodología**

El método que se usa en el dimensionamiento preliminar de esta comunidad está montado, en hojas de cálculo (Excel), y el mismo se encuentra diseñado para dimensionar los diferentes equipos requeridos para la instalación de tecnologías de generación como son convertidores, reguladores, baterías y equipos de generación a utilizar para cada tecnología. Además calcula la potencia de cada equipo, la potencia total de salida de la fuente, la cantidad de energía a almacenar, el costo de inversión inicial, y el costo referido a 20 años. El método considera un sistema de generación fotovoltaico, un sistema de generación a partir de un grupo electrógeno, un sistema de generación eólica y sistemas de generación combinados o híbridos para los cuales considera; fotovoltaico más grupo

electrógeno, fotovoltaico más aerogenerador, grupo electrógeno más aerogenerador y una combinación de todos los sistemas; sistema fotovoltaico, grupo electrógeno y sistema eólico. Usando cada una de las variantes.

### **Consumo energético de los equipos que conforman la comunidad modelo**

Para realizar la valoración del consumo energético que pueden producir los equipos se acude a las características que se implanta en dicha comunidad, se ingresa los valores característicos de dichos equipos, en una caracterización donde se considera el número de equipos, la tensión, la potencia de cada equipo y el tiempo de trabajo en horas al día, dando como resultado la potencia total, la energía consumida en (kW-h/día), la energía requerida por año (kW-h/año) y el porcentaje de consumo total de los equipos.

## **3.4 Generación fotovoltaica**

El dimensionamiento preliminar del sistema de generación mediante paneles solares fotovoltaicos en este trabajo está encaminado a la utilización de los sistemas en forma aislada de la red de un sistema eléctrico; a continuación se describen los elementos de la misma y la especificación de los datos a ingresar, se mencionan los más importantes en función del sistema climatológico que mantiene el Ecuador y de las características que pueden alcanzar los equipos.

- La tensión del convertidor que se toma como referencia es de 96 V.
- El cubrimiento de energía fotovoltaica requerida es del 100 %, ya que este es un sistema de generación puro, por lo que debe cubrir la demanda de energía total de la comunidad.
- Se establece 2 días de autonomía debido a la naturaleza intermitente de la irradiación solar durante los períodos bajos de entrega de la fuente de energía primaria; la irradiación solar que se toma en cuenta para este dimensionamiento es de 5 kW-h/m<sup>2</sup> por día, con 5 horas de sol pico.

- La capacidad de las baterías es de 3 000 Ah, evitando de esta manera colocar mayor número de baterías para poder ahorrar espacio, con una tensión de 12 V y 50 % de profundidad de descarga.
- La potencia del panel es de 180 W.
- Las tablas 3.2 y 3.3 presentan el costo de la inversión inicial y los costos referidos a 20 años respectivamente que se requieren para generación de electricidad usando paneles solares fotovoltaicos.

**TABLA 3.2. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Paneles	545,16	74 300,30
Convertidor	19 429,56	17 663,24
Regulador	1 011,96	919,96
Batería	1 584,00	21 588,40
O&M de paneles/año	0,00	0,00
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	2 158,84	2 158,84
Accesorios e instalación	36 798,41	36 798,41
	<b>TOTAL</b>	<b>153 429,14</b>

**TABLA 3.3. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital (\$/año)</b>	<b>Reposición (\$/año)</b>	<b>O &amp; M (\$/año)</b>	<b>Total (\$/año)</b>
Paneles	9 947,23	-585,40	0,00	9 361,84
Baterías	2 890,23	2 160,77	29 422,92	34 473,92
Convertidor + Regulador	2 487,90	-191,01	0,00	2 296,88
<b>TOTAL</b>	<b>15 325,36</b>	<b>1 384,36</b>	<b>29 422,92</b>	<b>46 132,64</b>

### **3.5 Generación con Grupos Electrógenos**

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna, normalmente se utiliza cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente en zonas agrícolas con pocas infraestructuras o

viviendas aisladas. Los parámetros a considerar para el dimensionamiento de generación eléctrica mediante grupos electrógenos son los siguientes:

- El cubrimiento de energía por diesel que se desea es del 100 %, ya que esta debe abastecer la demanda total de energía requerida por la comunidad con una duración de 10 horas de trabajo por día previstas, mientras para el resto de horas de energía requerida se coloca un banco de baterías para cubrir la demanda de energía, teniendo las mismas una capacidad de 3 000 Ah con 50 % de profundidad de descarga.
- Se consideran 2 días de autonomía para el caso en que el grupo electrógeno se quede sin combustible o sufra alguna avería.
- La tensión del convertidor es de 96 V.
- Las tablas 3.4 y 3.5 que se presenta a continuación muestran el valor de inversión inicial y los costos referidos a 20 años respectivamente, que se requieren para generación de electricidad mediante esta tecnología.

**TABLA 3.4. VALOR INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Grupo electrógeno	49 045,76	44 587,06
Convertidor	58 854,92	53 504,47
Regulador	3 065,36	2 786,69
Batería	1 584,00	21 588,40
O&M de GE/año	29,20	26,55
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
Accesorios e instalación	6 123,33	6 123,33
<b>TOTAL</b>		<b>129 048,27</b>

**TABLA 3.5. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital (\$/año)</b>	<b>Reposición (\$/año)</b>	<b>O &amp; M (\$/año)</b>	<b>Total (\$/año)</b>
Grupos electrógenos	5 969,26	7 845,06	29,20	13 843,52
Baterías	2 890,23	2 160,77	29 422,92	34 473,92
Convertidor + Regulador	7 536,19	-578,61	0,00	6 957,59
<b>TOTAL</b>	<b>16 395,68</b>	<b>9 427,23</b>	<b>29 452,12</b>	<b>55 275,03</b>

### 3.6 Generación con Energía Eólica

El dimensionamiento preliminar del sistema de generación mediante energía eólica depende de la especificación de los datos a ingresar; en la práctica, los detalles de la construcción de cada componente puede variar de un diseño a otro de acuerdo a las condiciones locales, los materiales disponibles y la creatividad del diseñador pero estas componentes son, por lo regular, comunes en los aerogeneradores; a continuación se mencionan los parámetros más importantes en función del sistema climatológico que mantiene el Ecuador.

- El cubrimiento de energía por el aerogenerador que se desea es del 100 %, por lo que dicho aerogenerador puede cubrir la demanda total de energía que requiere la comunidad.
- Con un factor de capacidad previsto de 0,25.
- El sistema se dimensiona para 2 días de autonomía, instalando un banco de baterías con una capacidad de 3 000 Ah, para cuando el aerogenerador requiera ser parado por alguna causa.
- La velocidad del viento media en sectores insulares es de aproximadamente 6 m/s, considerados una buena capacidad de energía primaria para poner en funcionamiento dicho generador eólico.
- La tensión del convertidor es de 96 V.
- Las tablas 3.6 y 3.7 muestran el costo de inversión inicial y el costo referido a 20 años para la generación con esta tecnología.

**TABLA 3.6. VALOR DE INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Aerogenerador	30 665,34	27 877,58
Convertidor	17 810,43	16 191,30
Regulador	927,63	927,63
Batería	1 584,00	21 588,40
O&M de AEG/año	557,55	557,55
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
Accesorios e instalación	19 975,47	19 975,47
	<b>TOTAL</b>	<b>87 549,70</b>

**TABLA 3.7. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO.**

	<b>Capital</b>	<b>Reposición</b>	<b>O &amp; M</b>	<b>Total</b>
	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>
Aerogenerador	3 732,22	13 956,38	506,87	18 195,46
Baterías	2 890,23	2 160,77	29 422,92	34 473,92
Convertidor + Regulador	2 291,86	-491,77	0,00	1 800,09
<b>TOTAL</b>	<b>8 914,31</b>	<b>15 625,39</b>	<b>29 929,78</b>	<b>54 469,48</b>

### **3.7 Generación fotovoltaica más grupo electrógeno (sistema híbrido)**

Estos proyectos suelen ser realizados en zonas muy alejadas de la red general de distribución eléctrica; el tamaño y tipo de la instalación depende únicamente de las necesidades del usuario y es característica en ellos que la instalación se sitúe muy cerca del centro de consumo, requiriéndose frecuentemente la existencia de un banco de baterías.

Cuando la instalación es aislada de la red eléctrica y se diseña para proporcionar suministro eléctrico a una demanda de energía que es grande, o debe ser permanente se recurre a este tipo de instalación (híbrida).

Para realizar el dimensionamiento de un sistema híbrido hay que tener en cuenta principalmente la variante que más aporte de energía entregue; en este sistema se considera que para cubrir la energía que la comunidad requiere mediante paneles solares es de un 25 %, y el cubrimiento de energía mediante grupos electrógenos se considera un 75 %, dando como resultado la sumatoria de las 2 fuentes de energía un total de 100 %; se dimensiona para 2 días de autonomía y los demás parámetros restantes son tomados en función de cada tecnología descrita anteriormente. Las tablas 3.8 y 3.9 muestran el costo de inversión inicial y el costo referido a 20 años.

**TABLA 3.8. COSTO INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Paneles	545,16	74 300,30
Convertidor	19 429,56	17 663,24
Regulador	1 011,96	919,96
Batería	1 584,00	21 588,40
Grupo electrógeno	36 784,32	33 440,29
O&M de paneles/año	0,00	0,00
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
O&M de GE/año	29,20	26,55
Accesorios e instalación	38 470,42	38 470,42
	<b>TOTAL</b>	<b>186 840,92</b>

**TABLA 3.9. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital (\$/año)</b>	<b>Reposición (\$/año)</b>	<b>O &amp; M (\$/año)</b>	<b>Total (\$/año)</b>
Paneles	9 947,23	-585,40	0,00	9 361,84
Baterías	2 890,23	2 160,77	5 884,58	10 935,59
Convertidor + Regulador	2 487,90	-191,01	0,00	2 296,88
Grupos electrógenos	4 476,95	5 883,80	29,20	10 389,94
<b>TOTAL</b>	<b>15 325,36</b>	<b>1 384,36</b>	<b>5 884,58</b>	<b>32 984,24</b>

### **3.8 Generación híbrida fotovoltaica más aerogenerador**

Los sistemas híbridos de este tipo tratan de optimizar las mejores condiciones del viento y el sol, complementándose entre sí. Los días fríos y de viento, normalmente nubosos, apenas permiten aprovechar la luz solar, mientras que son ideales para la operación de los aerogeneradores. Por su parte, los días de anticiclón suelen provocar cielos despejados con poco viento y por tanto, más adecuados para los sistemas fotovoltaicos. El dimensionamiento preliminar de este sistema híbrido se basa principalmente en el cubrimiento de energía que se desea obtener de cada fuente; para el sistema fotovoltaico se tomo como base de cubrimiento de energía del 25 %, el resto de energía requerida tiene que ser asumida por el sistema eólico mediante un aerogenerador con un 75 %, dando así

la sumatoria total de ambas tecnologías un 100 %. La tensión del convertidor es de 96 V, considerando 2 días de autonomía, la velocidad media del viento es de 6 m/s, siendo esta una velocidad considerable para que el generador eólico asuma la mayor parte de la energía que se requiere, mientras que los demás parámetros son tomados de las tecnologías descritas anteriormente. En las tablas 3.10 y 3.11 muestran los costos de inversión inicial y costos referidos a 20 años respectivamente.

**TABLA 3.10. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Paneles	545,16	74 300,30
Convertidor	19 429,56	17 663,24
Regulador	1 011,96	919,96
Batería	1 584,00	21 588,40
Aerogenerador	22 999,01	20 908,19
O&M de paneles/año	0,00	0,00
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
O&M del AEG/año	418,16	418,16
Accesorios e instalación del AEG	6 272,46	6 272,46
Accesorios e instalación de FV	36 798,41	36 798,41
	<b>TOTAL</b>	<b>179 300,88</b>

**TABLA 3.11. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital (\$/año)</b>	<b>Reposición (\$/año)</b>	<b>O &amp; M (\$/año)</b>	<b>Total (\$/año)</b>
Paneles	9 947,23	-585,40	0,00	9 361,84
Baterías	2 890,23	2 160,77	5 884,58	10 935,59
Convertidor + Regulador	2 487,90	-191,01	0,00	2 296,88
Aerogenerador	2 799,16	13 956,38	380,15	17 135,69
<b>TOTAL</b>	<b>18 124,52</b>	<b>15 340,75</b>	<b>6 264,73</b>	<b>39 730,00</b>

### **3.9 Generación híbrida grupo electrógeno más aerogenerador**

Otra posibilidad es la unión de la instalación de un aerogenerador y un grupo electrógeno. Aunque este último no es un sistema de energía renovable, puede

servir como sistema auxiliar para momentos de déficit de corrientes de aire, o para cubrir consumos puntuales de elevada potencia. Para el dimensionamiento preliminar de estas variantes se considera que cada una de ellas aportan mitad a mitad del cubrimiento de energía requerido, es así que para el aerogenerador se tomo como base del 50 %, del cubrimiento de energía, con un factor de capacidad de 0,25 prevista, y el grupo electrógeno cubre el otro 50 %, de energía total requerida, dando una sumatoria total de las dos tecnologías del 100 %, con 2 días de autonomía; los demás parámetros se toman como referencia de cada tecnología descrita anteriormente. En las tablas 3.12 y 3.13 se muestran los costos de inversión inicial y los costos referidos a 20 años respectivamente, para generación eléctrica mediante este sistema.

**TABLA 3.12. COSTO DE INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Aerogenerador	15 332,67	13 938,79
Convertidor	8 905,22	8 095,65
Regulador	463,81	463,81
Batería	1 584,00	21 588,40
O&M del AEG/año	278,78	278,78
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
Grupo electrógeno	24 522,88	22 293,53
O&M de GE/año	29,20	26,55
Accesorios e instalación	13 226,00	13 226,00
	<b>TOTAL</b>	<b>80 343,27</b>

**TABLA 3.13. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital</b>	<b>Reposición</b>	<b>O &amp; M</b>	<b>Total</b>
	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>
Aerogenerador	1 866,11	6 978,19	253,43	9 097,73
Grupos electrógenos	2 984,63	3 922,53	29,20	6 936,36
Baterías	2 890,23	2 160,77	2 160,77	7 211,78
Convertidor + Regulador	1 145,93	-245,88	0,00	900,05
<b>TOTAL</b>	<b>8 886,90</b>	<b>12 815,61</b>	<b>2 443,41</b>	<b>24 145,91</b>

### 3.10 Generación híbrida fotovoltaica más aerogenerador más grupos electrógeno

Este tipo de sistema mixto eólico, fotovoltaico pueden contar con un grupo electrógeno de apoyo, alimentado con algún tipo de combustible, ya sea diesel o gasolina. El objetivo es mantener un nivel de carga adecuado en las baterías, cuando ni el sol ni el viento proporcionen la energía suficiente; se trata de sistemas especiales que inicialmente pueden resultar costosos según el tamaño y las necesidades que se requieran, pero es conveniente realizar un estudio para verificar cual es la mejor opción. Para el dimensionamiento de este sistema se considera los tres tipos de generación, para lo cual el cubrimiento de energía que se desea para la comunidad mediante energía fotovoltaica es del 20 %, para el aerogenerador es del 40 % y para el grupo electrógeno del 40 %, dando una sumatoria total de las tres tecnologías de un 100 %, con 2 días de autonomía; al igual que los otros casos los demás parámetros se consideran a partir de las variantes descritas anteriormente. En las tablas 3.14 y 3.15 se indican los costos de inversión inicial y los costos referidos a 20 años, para generación de electricidad mediante este sistema.

**TABLA 3.14. COSTO INVERSIÓN INICIAL**

<b>EQUIPO</b>	<b>INVERSIÓN (por equipo)</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL</b>
Paneles	545,16	74 300,30
Convertidor	19 429,56	17 663,24
Regulador	1 011,96	919,96
Batería	1 584,00	21 588,40
Aerogenerador	12 266,14	11 151,03
Grupo electrógeno	19 618,31	17 834,82
O&M de paneles/año	0,00	0,00
O&M de (Convertidor + regulador)/año	0,00	0,00
O&M de batería/año	431,77	431,77
O&M del AEG/año	223,02	223,02
Accesorios e instalación GE	891,74	891,74
Accesorios e instalación del AEG	3 345,31	3 345,31
Accesorios e instalación de FV	36 798,41	36 798,41
<b>TOTAL</b>		<b>185 148,00</b>

**TABLA 3.15. COSTOS ANUALES REFERIDOS AL TIEMPO DEL PROYECTO**

	<b>Capital</b>	<b>Reposición</b>	<b>O &amp; M</b>	<b>Total</b>
	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>
Paneles	9 947,23	-585,40	0,00	9 361,84
Baterías	2 890,23	2 160,77	5 884,58	10 935,59
Convertidor + Regulador	2 487,90	-191,01	0,00	2 296,88
Grupos electrógenos	2 387,70	3 138,02	29,20	5 554,93
Aerogenerador	1 492,89	13 956,38	202,75	15 652,02
<b>TOTAL</b>	<b>19 205,95</b>	<b>18 478,77</b>	<b>6 116,53</b>	<b>43 801,25</b>

**Resumen de todas las variantes**

**TABLA 3.16. COMPARACIÓN DE TODAS LAS VARIANTES**

<b>COMPARACIÓN ENTRE VARIANTES</b>		
<b>Variante</b>	<b>Costo inversión inicial</b>	<b>Costos referido a 20 años</b>
Fotovoltaica	153 429,14	46 132,64
Grupos Electrógenos	129 048,27	55 275,03
Eólica	87 549,70	54 469,48
FV + GE	186 840,92	32 984,24
FV + AEG	179 300,88	39 730,00
GE + AEG	80 343,27	24 145,91
FV + GE + EE	185 148,00	43 801,25

La tabla 3.16 permite realizar una comparación de todas las variantes aplicadas en el diseño preliminar; como se observa el sistema híbrido fotovoltaico más grupo electrógeno más aerogenerador, inicialmente resulta ser el más costoso y con menor valor se encuentra el sistema híbrido grupo electrógeno más aerogenerador. Haciendo referencia a los costos referidos a 20 años puede observarse, que el grupo electrógeno puro resulta ser el más costoso, debido al costo de mantenimiento y al costo de combustibles, que requiere para generar electricidad, que por lo regular tienden a subir cada día más. En menor valor se encuentra el sistema híbrido grupo electrógeno más aerogenerador convirtiéndose este en la opción más atractiva desde el punto de vista económico.

Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de aplicar el sistema híbrido fotovoltaico más aerogenerador, que en un principio su costo resulta ser elevado pero si se observa en costos referidos a 20 años puede ser una opción a

considerarse, más aún si se mira desde el punto de vista ambiental, ya que se trata de sistemas de generación limpios que no emiten gases contaminantes en gran proporción que afecten el medio ambiente.

### **3.11 Aplicación del método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a los esquemas de generación de electricidad evaluadas preliminarmente**

#### ***3.11.1 Definición de objetivo y alcance***

El objetivo de este capítulo consiste en analizar y evaluar las diferentes alternativas de generación de electricidad vistas anteriormente a partir de la evaluación del impacto ambiental, comparando las mismas con el objetivo de seleccionar las mejores alternativas desde el punto de vista ambiental, para la implantación de electricidad en la comunidad presentada anteriormente.

#### ***3.11.1.2 Alcance***

#### **Definición del sistema en estudio para las diferentes variantes de generación eléctrica**

Para la implantación de energía eléctrica, en la comunidad prevista se considera; la energía eólica, solar fotovoltaica, la generación de electricidad a partir de un grupo electrógeno y se toma en consideración los sistemas híbridos presentados, que son producto de la combinación de las tres tecnologías descritas. Este estudio se realiza tomando como referencia los pasos de la metodología vista en el capítulo previo y se realiza la evaluación del impacto de las diferentes variantes.

El alcance de este estudio contempla únicamente la fase de generación de electricidad quedando excluidas la fase de construcción de infraestructura, transporte y distribución de la misma

### Unidad funcional

La unidad funcional que se toma en cuenta, es la producción de 49,28 MW-h para todas las alternativas de generación de electricidad, pudiendo esta ser modificada en función del objetivo de estudio.

### Requisitos de la calidad de datos

Los datos de inventario fueron proporcionados por el Centro de Entrenamiento de la Unión Eléctrica de la Habana, ya que el inventario es la etapa más compleja para el análisis de ciclo de vida, se intentó obtener valores de máxima calidad, de entradas y salidas para todas las variantes.

## 3.12 Análisis del inventario

Como se vio en el capítulo previo para realizar el análisis de inventario de ciclo de vida (ICV) es necesario cuantificar el consumo de materias primas, energía, residuos sólidos, vertidos al agua y emisiones a la atmósfera y en cada caso se especifican la unidad funcional de acuerdo a la disponibilidad de datos de inventario. A continuación se presentan cada uno de los inventarios para las distintas tecnologías.

**TABLA 3.17. INVENTARIO DE DATOS PARA ENERGÍA SOLAR**

<b>Materiales de entrada</b>	<b>Categoría del material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Energía solar		kW-h/m <sup>2</sup>	5
<b>Materiales de salida</b>		<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Energía generada	Flujo elemental	MW-h	1
Basura domestica	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,00031
<b>Obras permanentes</b>			
Área del predio		m <sup>2</sup> /MW-h	0,214

**TABLA 3.18. INVENTARIO DE DATOS PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS**

<b>Materiales de entrada</b>	<b>Categoría del material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible Diesel sin limpiar	Producto de otro sistema	Ton/MW-h	0,2559
<b>Materiales de salida</b>		<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Energía generada	Flujo elemental	MW-h	1
Grasas y Aceites	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,000023
Agua para limpieza máquina	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,00000234
Aceites usados	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,0082
<b>Obras permanentes</b>			
Área del predio		m <sup>2</sup> /MW-h	0,049
<b>Emisiones</b>			
CO	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,003
NOx	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,0481
SO <sub>2</sub>	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,0082
CO <sub>2</sub>	Flujo elemental	Kg/ MW-h	1,6712

**TABLA 3.19. INVENTARIO DE DATOS PARA ENERGÍA EÓLICA**

<b>Materiales de entrada</b>	<b>Categoría del material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Viento	Producto de otro sistema	m/s	6
<b>Materiales de salida</b>		<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Energía generada	Flujo elemental	MW-h	1
Grasas y Aceites	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,000023
Residuos sólidos peligrosos	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,005
Aceites usados	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,01
Solvente usado	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,002
Basura domestica	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,00015
<b>Obras permanentes</b>			
Área del predio		m <sup>2</sup> /MW-h	0,31

### 3.13 Evaluación del impacto

#### Caracterización y valoración de la energía generada

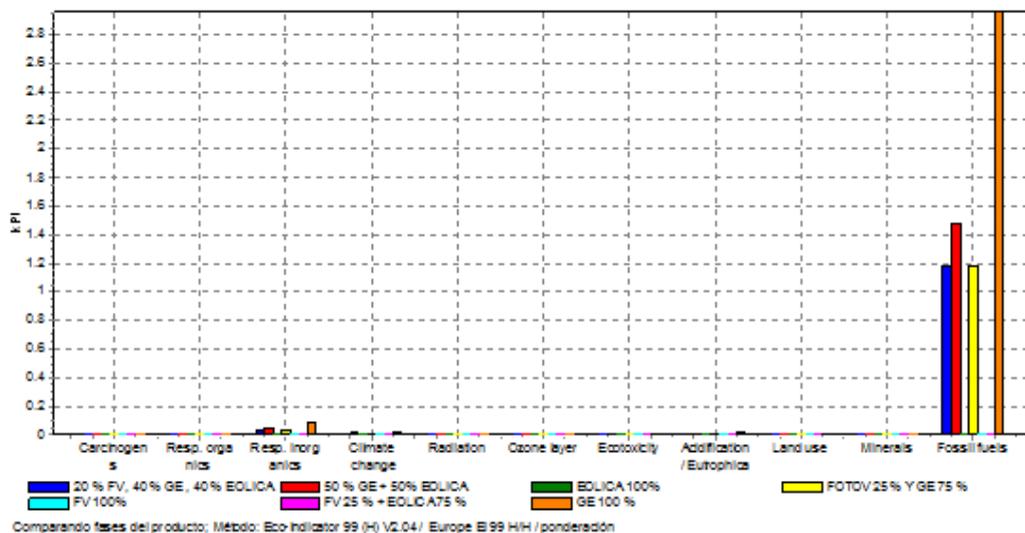
En esta fase se utiliza el programa mencionado anteriormente ingresando los datos del inventario de entradas y salidas dando como resultado la evaluación de impacto de las diferentes variantes en estudio, lo que permitirá realizar la interpretación de los resultados y analizar la contribución de las etapas de

generación de electricidad con enfoque de ciclo de vida a las distintas categorías de impactos y de daños según el eco indicador 99, las mismas que están expresadas en puntos de generación de energía, además los resultados también son expresados mediante tablas obtenidas en el programa.

Se observa que la generación de electricidad mediante el grupo electrógeno tiene la mayor influencia en la categoría de impactos sobre los combustibles fósiles, seguido por el sistema híbrido energía eólica más grupo electrógeno y en un tercer lugar con valores similares se encuentran los sistemas híbridos energía solar más grupo electrógeno más energía eólica y energía solar más grupo electrógeno. Como se esperaba en la valoración de estas tecnologías tiene un papel fundamental el consumo de diesel, el cual también afecta en menor valor significativo, las categorías carcinógenas, respiración de inorgánicos, cambio climático, debido principalmente a las emisiones de gases a la atmósfera producto de la combustión del diesel utilizado en la generación de electricidad.

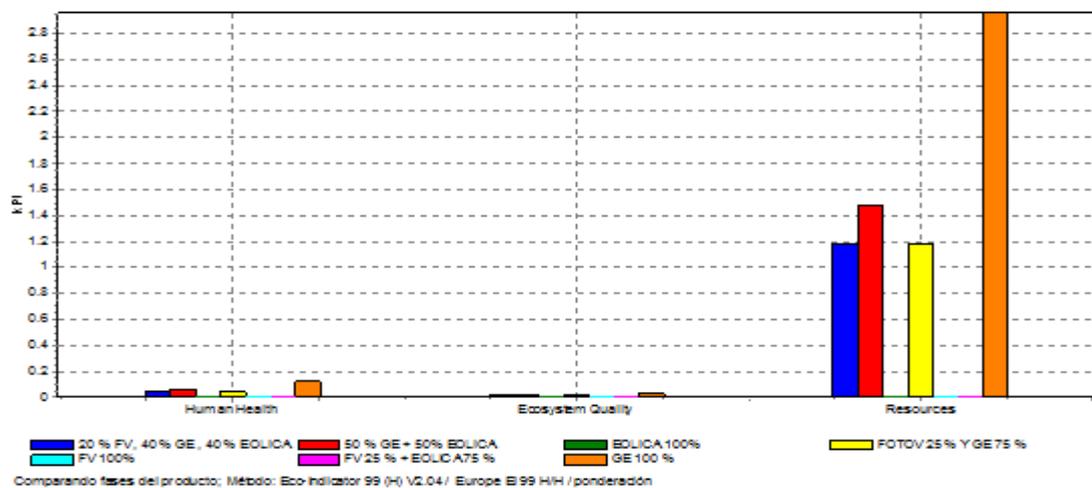
**La figura 3.1 muestra la comparación de todos los esquemas y sus aportes a las diferentes categorías de impactos.**

**FIGURA 3.1. COMPARACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE 49,28 MW-h A LAS CATEGORÍAS DE IMPACTOS CON TODAS LAS VARIANTES**



La energía solar pura, la energía eólica pura y el sistema híbrido energía fotovoltaica más energía eólica tienen mayor influencia sobre el uso del terreno dentro de las categorías de impactos, esto se debe a que se mantiene la acción del uso del suelo desde la fase de construcción de infraestructura hasta la fase de generación de electricidad, mientras en las demás categorías no tienen valores significativos.

**FIGURA 3.2.COMPARACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE 49,28 MW-H A LAS CATEGORÍAS DE DAÑOS CON TODAS LAS VARIANTES EN ESTUDIO**



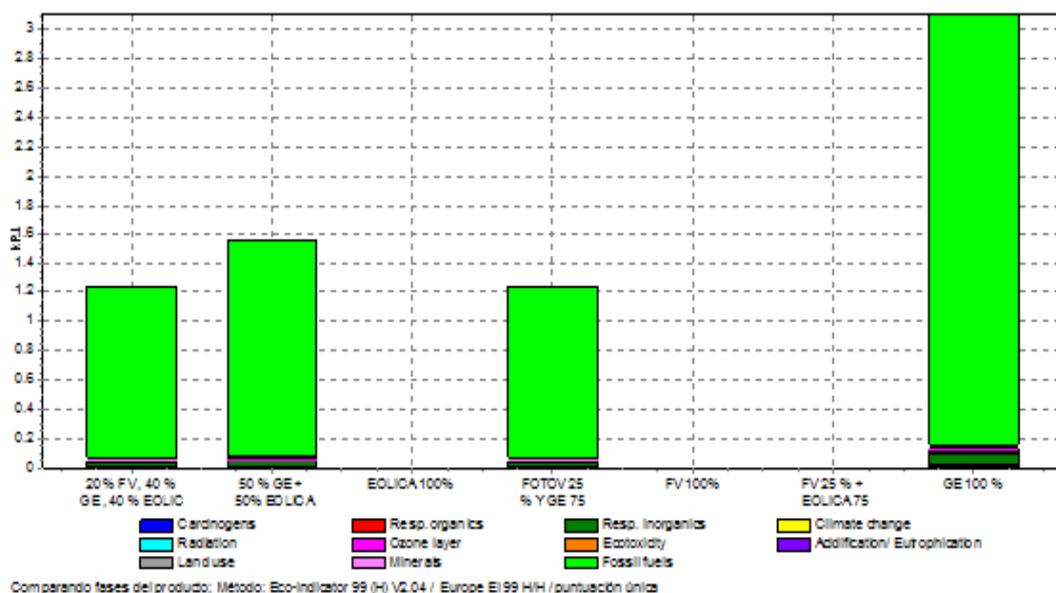
La figura 3.2 muestra los efectos que ofrecen sobre las diferentes categorías de daños a los esquemas analizados. Se observa que la categoría más afectada es la relacionada con las fuentes teniendo un primer lugar los efectos que corresponden a grupo electrógeno, en segundo lugar al sistema híbrido energía eólica más grupo electrógeno y en tercer lugar, y con valores similares, los sistemas híbridos energía solar más grupo electrógeno más energía eólica y energía solar más grupo electrógeno; esto está dado porque el grupo electrógeno utiliza un recurso no renovable (el diesel) su uso también influye en la categoría de daños a la salud humana debido a la contaminación atmosférica producto de las emisiones de gases de la combustión (principalmente respiración de inorgánicos) y por último la categoría calidad del ecosistema producto de todas las emisiones producidas en el proceso de generación de electricidad (sólidas, líquidas y gaseosas ).

El resto de las variantes de esquemas (renovables puros o híbridos) tienen valores poco significativos dentro del resto de las categorías de daños y son casi despreciables, más aún si se compara con la categoría de recursos.

### Escenario para generación eléctrica de la comunidad que consume 49,28 MW-h de energía en un año

La figura 3.3 y la tabla 3.20 muestran la puntuación única de todas las tecnologías; como se puede apreciar la energía generada mediante grupos electrógenos tiene la mayor puntuación en relación a las demás variantes, siendo esta variante la más impactante de todas las tecnologías debido al impacto sobre la categoría de combustibles fósiles, seguido por el sistema híbrido energía eólica más grupo electrógeno, y en tercer lugar con valores similares están los sistemas híbridos energía solar más grupo electrógeno más energía eólica y energía solar más grupo electrógeno; esto se debe a que los sistemas híbridos que se encuentran asociados con un grupo electrógeno, causan impacto sobre la categoría de combustibles fósiles debido al uso del diesel que esta tecnología requiere para producir electricidad.

**FIGURA 3.3. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 49,28 MW-H EN PUNTUACIÓN ÚNICA UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES**



Como se aprecia en la figura las categorías restantes tienen valores poco significativos, el mayor impacto que ocasionan, en la categoría de uso del terreno no contribuyendo de una forma apreciable a casi ninguna otra categoría.

La tabla 3.21 resume los resultados obtenidos de la evaluación técnica económica y la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida para los diferentes esquemas acogidos.

**TABLA 3.20. CONTRIBUCIÓN DE GENERACIÓN DE 49,28 MW-H EN PUNTUACIÓN ÚNICA UTILIZANDO TODAS LAS VARIANTES.**

Título:	Comparando fases del producto							
Método:	Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 H/H							
Indicador:	Puntuación única							
Categoría de impacto:	Sí							
Omitir categorías:	Nunca							
Modo relativo:	No							
Categoría de impacto	Unidad	FV, GE y AEG	GE + AEG	E. Eólica	FV Y GE	E. Solar	FV y AEG	G.Electrógeno
Total	Pt	1244,8585	1555,9944	1,370329	1244,859	0,945969	1,264239	3110,6184
Carcinogénesis	Pt	1,4919159	1,8650841	0	1,491916	0	0	3,7301683
Resp. Orgánica	Pt	1,0518844	1,314989	0	1,051884	0	0	2,6299779
Resp. inorgánica	Pt	36,310152	45,392296	0	36,31015	0	0	90,784591
Cambio climático	Pt	10,139968	12,676246	0	10,13997	0	0	25,352492
Radiación	Pt	0,13594998	0,16995472	0	0,13595	0	0	0,33990943
Capa de ozono	Pt	0,51709556	0,64643504	0	0,517096	0	0	1,2928701
Ecotoxicidad	Pt	3,0703076	3,838274	0	3,070308	0	0	7,6765479
Acidificación	Pt	5,643045	7,054522	0	5,643045	0	0	14,109044
Uso del terreno	Pt	2,8205362	3,2894158	1,370329	2,820536	0,945969	1,264239	5,2085026
Minerales	Pt	0,38638968	0,48303611	0	0,38639	0	0	0,96607222
Combustibles fósiles	Pt	1183,2912	1479,2641	0	1183,291	0	0	2958,5283

**TABLA 3.21. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS.**

Esquema	FV-GE-AEG	GE-AEG	Eólica	FV-GE	Fotovoltaica	FV-AEG	Grupo Electrógeno
<b>Tabla ACV</b>	1 245	1 556	1,37	2 333	0,94	1,26	3 111
<b>Cost. Inv. Inicial</b>	185 148,00	80 343,27	87 549,76	186 840,92	153 429,14	179 300,88	129 048,29
<b>Cost. Inv. 20 años</b>	43 801,25	24 145,91	54 465,48	32 984,24	46 132,69	39 750,00	55 275,03

Si se analiza la tabla 3.21 puede concluirse que la variante más adecuada, tomando en consideración tanto el aspecto técnico - económico como el Análisis de Ciclo de Vida es de utilizar un esquema de generación de electricidad con energía eólica bajo las condiciones expuestas ya que frente a los costos de inversión inicial a corto y largo plazo es competitiva con las otras variantes o

esquemas de generación y muestra aporte poco significativo de impacto y daño sobre el medio ambiente.

No obstante, si se posee una fuente financiera adecuada, el esquema de un sistema híbrido que establece energía solar fotovoltaica y energía eólica se presentan como muy interesantes dado que sólo tiene en contra su alto costo de inversión a corto plazo (inicial), siendo competitiva con la anteriormente mencionada (energía eólica pura) desde el punto de vista del Análisis de Ciclo de Vida y se obtuvo mejores resultados (con 28 % menor) en los costos a largo plazo.

# **CAPÍTULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- ✓ El estudio realizado a partir de los resultados obtenidos en la elaboración de este trabajo de diploma comprueba que el uso de energías no renovables es el que mayor impacto ambiental causa.
- ✓ Utilizando la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, se obtuvo el perfil ambiental de la producción de electricidad por categorías de impacto y de daño, determinándose que los puntos críticos del proceso de generación de electricidad, están dados por el uso de combustibles fósiles afectando a los recursos de la naturaleza ya que estos tienen carácter de no renovables y en el proceso de combustión ya que el mayor impacto está dado por las emisiones de gases a la atmósfera usando energías no renovables, y al uso del terreno en la producción de electricidad usando fuentes de energías renovables causando impacto sobre la calidad del ecosistema.
- ✓ Del análisis realizado en el estudio se determinó que la alternativa más factible para la comunidad modelo analizada es la energía eólica, por los valores positivos que desde el punto de vista ambiental presenta y la competitividad desde el punto de vista técnico económico.

## **Recomendaciones.**

- ✓ Se recomienda realizar un estudio sobre este mismo tema por cada tecnología, donde se considere todas las fases de ciclo de vida desde la extracción de materia prima para la fabricación de los componentes hasta el final de la vida útil de los equipos, “es decir de la cuna a la tumba”.
- ✓ Se sugiere que los datos a considerarse en el inventario para el Análisis de Ciclo de Vida sean de máxima calidad, para no trabajar con inventarios de la base de datos de Ecoinvent, porque esta base de datos considera inventarios para países de Europa y EEUU, alejados de nuestros países.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Hernández, G. C.: “Las energías renovables y el medio ambiente”
2. Almirall, J.: “Temas de ingeniería eléctrica”, tomo I.
3. <http://www.wikipedia.org/wiki/Electricidad-hidráulica>
4. <http://html.rincondelvago.com/energia-hidraulica.html>
5. <http://www.renovables-energia.com/2009/03/desventajas-de-la-biomasa/>
6. <http://erenovable.com/2007/02/23/energia-de-la-biomasa/>
7. [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_de\\_la\\_biomasa](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_de_la_biomasa)
8. <http://www.institucio.org/mestral/tecnotreball/centraleol.htm>
9. <http://www.renovables.com/eolica.htm>
10. [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_geot%C3%A9rmica-eolica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_geot%C3%A9rmica-eolica)
11. [http://html.rincondelvago.com/energia-geotermica\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/energia-geotermica_2.html)
12. [http://www.proyectosalohogar.com/Ciencias\\_ambientales/07Energ/130EnNuclear.html](http://www.proyectosalohogar.com/Ciencias_ambientales/07Energ/130EnNuclear.html)
13. <http://feederico.com/como-se-genera-la-energia-nuclear/>
14. [http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/34\\_produce\\_energia\\_solar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/34_produce_energia_solar.html)
15. <http://www.portalenergia.es/informacion/energia/mareomotriz/ventajasydesventajasEnergiaMareomotriz.jsp>
16. <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi98/energia-vs-ambiente/mareomo.htm>
17. <http://www.renovables-energia.com/2009/05/energia-mareomotriz-la-fuerza-de-las-mareas/>
18. <http://es.wikipedia.org/wiki/Electricidad>
19. <http://www.monografias.com/trabajos/energiasalter/energiasalter.shtml>
20. [www.conelec.gov.es](http://www.conelec.gov.es)
21. [http://ciencia.glosario.net/ecotropia/an%Elisis-del-ciclo-de-vida-\(acv\)-9285.html](http://ciencia.glosario.net/ecotropia/an%Elisis-del-ciclo-de-vida-(acv)-9285.html)
22. <http://blog.pucp.edu.pe/media/2360/20100209>
23. <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090906155334AABN8GE>
24. <http://blogrocioycesar.wordpress.com/2008/06/09/ventajas-y-desventajas-de-las-centrales-geotermicas/>

25. <http://www.enerpro.com.ec/Recursos/Articulos/ResumenEnergiasRenovables.pdf>
26. <http://www.monografias.com/trabajos/energiasalter/energiasalter.shtml>
27. <http://www.kropla.com/electric2.htm>
28. <http://www.institucio.org/mestral/tecnotreball/centraleol.htm>
29. [http://html.rincondelvago.com/energia-geotermica\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/energia-geotermica_1.html)
30. [http://ciencia.glosario.net/ecotropia/an%E1lisis-del-ciclo-de-vida-\(acv\)-9285.html](http://ciencia.glosario.net/ecotropia/an%E1lisis-del-ciclo-de-vida-(acv)-9285.html)
31. Perspectivas fotovoltaica en Cuba Daniel Stolik Universidad de la Habana
32. APPA - Asociación de Productores de Energías Renovables El protocolo de Kyoto. 2005.
33. APPA - Asociación de Productores de Energías Renovables. “Impactos Ambientales de la producción eléctrica: Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica”. 2005
34. Contreras, M. A.: “Metodología para el ACV combinado con análisis energético en la industria azucarera”. Tesis en opción al título de Doctor. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Cuba. 2007.
35. Conesa.: Guía metodológica de Evaluación de impactos ambientales. 2000.
36. NC ISO 14 044.2009. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
37. NC ISO 14040. 2009. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana. Cuba.
38. NC ISO 14041: 2000. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y análisis del inventario. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana. Cuba.
39. NC ISO 14042: 2001. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana. Cuba.
40. NC ISO 14043: 2001. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana. Cuba.

## ANEXOS

**Anexo A:** Tabla de Resumen del Análisis de Inventario energía eólica

<b>Materiales de entradas y salidas</b>	<b>1MW</b>	
<b>SALIDAS</b>	unidad	cantidad /UF
solventes usados	m <sup>3</sup> /MW-h	0,0048
Baterías	Kg/MW-h	1,2005
aceite lubricante usado	m <sup>3</sup> /MW-h	0,1825
<b>Residuos sólidos:</b>		
basura doméstica	Ton/MW-h	0,036
obras permanentes	m <sup>2</sup>	2864,8259
<b>Materiales de entradas</b>		
Aerogenerador		
Voltaje		
tablero eléctrico		
Transformador		

**Anexo B:** Tabla Resumen del Análisis de Inventario energía solar fotovoltaica

<b>Materiales de Entradas y Salidas</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
El cadmio	Al aire	kg /MW-h	1,9526E-08
Riego, natural no especificado	recurso	m <sup>3</sup> /MW-h	0,00906785
La ocupación, el sitio del extracto mineral	recurso	m <sup>2</sup> /MW-h	6,5807E-05
La transformación, área cultivable	recurso	m <sup>2</sup> /MW-h	5,6665E-06
La energía, solar	recurso	MJ	5,2981E-05
La energía, cinético, fluye, en el viento	recurso	MJ	0,0235859
El anhídrido carbónico, en el aire	recurso	kg /MW-h	0,00089494
Demanda de Oxígeno Biológico	al agua	kg /MW-h	0,00015345
El cadmio, el ion	al agua	kg /MW-h	2,2512E-09
El calcio, el ion	al agua	kg /MW-h	0,00063787
El cobalto	al agua	kg /MW-h	1,1293E-08
Oxígeno Químico	al agua	kg /MW-h	0,00042957
Carbono Orgánico Disuelto,	al agua	kg /MW-h	0,00010582
El manganeso	al agua	kg /MW-h	3,6555E-07
Los sólidos resueltos	al agua	kg /MW-h	3,1814E-05
El cadmio	a tierra	kg /MW-h	9,6642E-12
El cromo	a tierra	kg /MW-h	8,7125E-11
Los aceites, no especificado	a tierra	kg /MW-h	7,0851E-06

**Anexo C:** Tabla Resumen del Análisis de Inventario energía a partir de la biomasa

<b>Materiales de entradas y salidas</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Caliente, pérdida	aire	MJ	2,423982946
Partículas, < 2.5	aire	kg /MW-h	3,37383E-05
Partículas, > 10	aire	kg /MW-h	1,85896E-05
Partículas, > 2.5 y < 10um	aire	kg /MW-h	1,10832E-05
El anhídrido carbónico	aire	kg /MW-h	3,50338E-07
El monóxido de carbono	aire	kg /MW-h	0,000156005
Riegue, el origen natural no especificado	recurso	m3 /MW-h	0,00011778
Engrase, crudo, en la tierra	recurso	kg /MW-h	0,00379236
La transformación cultivable	recurso	m <sup>2</sup> /MW-h	4,33853E-08
La ocupación cultivable	recurso	m <sup>2</sup> /MW-h	2,43111E-06
Madera, no especificado	recurso	m <sup>3</sup> /MW-h	1,73791E-12
La energía, solar,	recurso	MJ	8,36122E-06
El anhídrido carbónico, en el aire	recurso	kg /MW-h	0,000182474
Demanda de Oxígeno Biológico	agua	kg /MW-h	2,72715E-05
Demanda de Oxígeno Químico	agua	kg /MW-h	2,83187E-05
Carbono Orgánico Disuelto,	agua	kg /MW-h	8,50604E-06
Los sólidos resueltos	agua	kg /MW-h	1,79987E-06
Nitrógeno	agua	kg /MW-h	2,53163E-08
El fosfato	agua	kg /MW-h	6,03634E-09
Los aceites, no especificado,	agua	kg /MW-h	8,57404E-06

**Anexo D:** Tabla Resumen del Análisis de Inventario grupos electrógenos

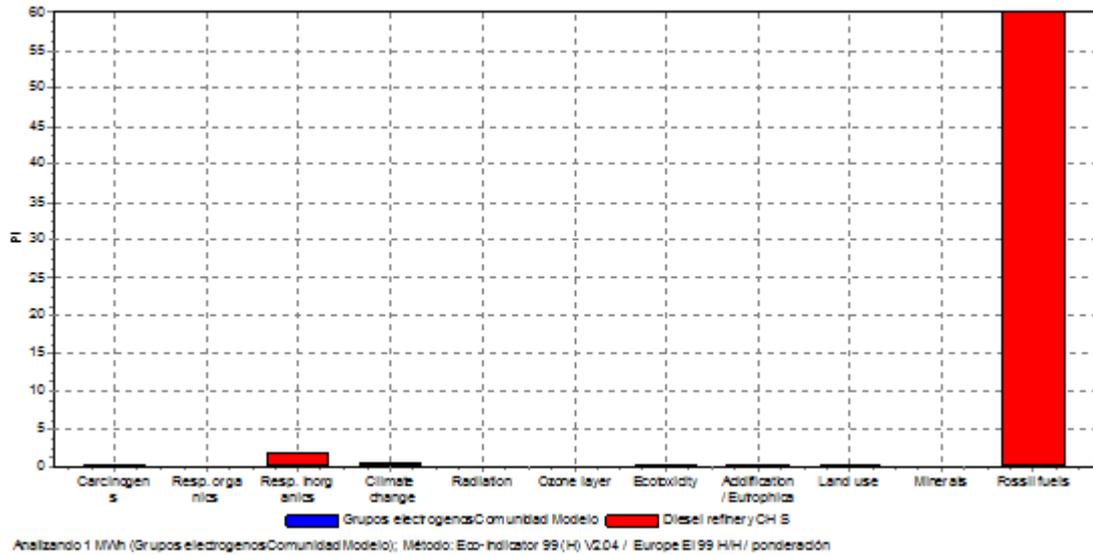
<b>Materiales de entrada</b>	<b>Categoría del material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible Diesel sin limpiar	Producto de otro sistema	Ton/MW-h	0,22000354
Agua total	Producto de otro sistema	m <sup>3</sup> /MW-h	0,00584
Energía eléctrica de la red pública.	Producto de otro sistema	MW/MW-h	0,0033
<b>Materiales de salida</b>		<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Energía generada	Flujo elemental	MW-h	1
Aguas oleosas	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,000446
Grasas y Aceites	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,0049
Hidrocarburos.	Flujo elemental	Kg/MW-h	0,0032
Agua del limp. Maq	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,000165
Agua uso sanitario	Flujo elemental	m <sup>3</sup> /MW-h	0,005236
Aceites usados	Flujo elemental	Kg/MW-h	1,3879
<b>Emisiones</b>			
CO	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,020
Nox	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,054
SO <sub>2</sub>	Flujo elemental	Kg/ MW-h	0,007
CO <sub>2</sub>	Flujo elemental	Kg/ MW-h	5,494

**Anexo E:** Tabla resumen del análisis de inventario energía hidráulica

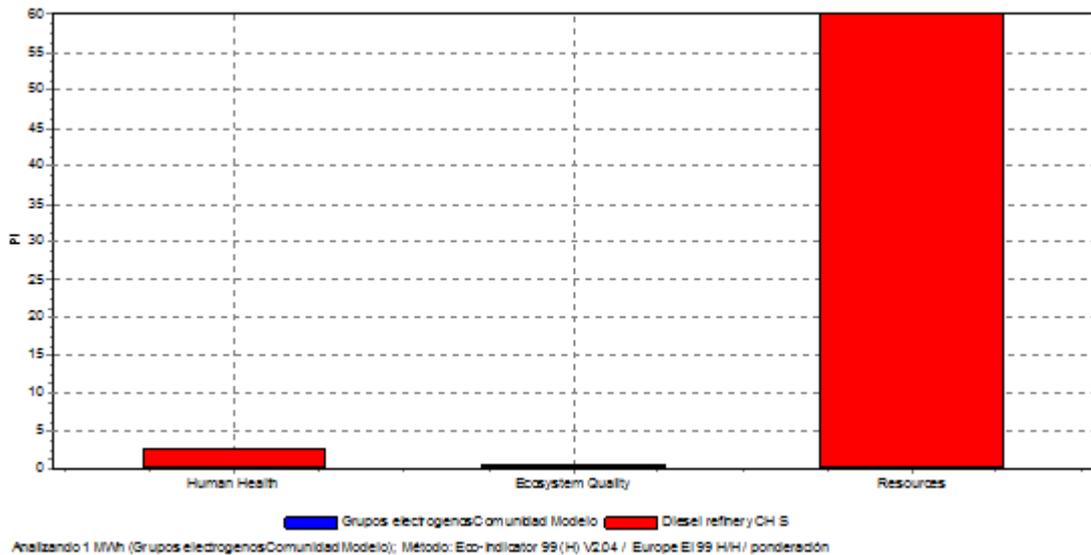
<b>Materiales de Entradas y salidas</b>	<b>cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Energía eléctrica fuente hidráulica	1	MW-h
Ocupación de cuerpos de agua artificiales	0,035	m <sup>2</sup> /MW-h
Transformación de área industrial	0,0000023	m <sup>2</sup> /MW-h
Volumen ocupado del reservorio	0,15	m <sup>3</sup> /a
Aceite de lubricación	0,000007	kg/MW-h
<b>Emisiones</b>		
Metano videntico ( aire)	0,00143	kg/MW-h
Aceites minerales usados ( suelo)	0,000007	kg/MW-h

**Anexo F.**

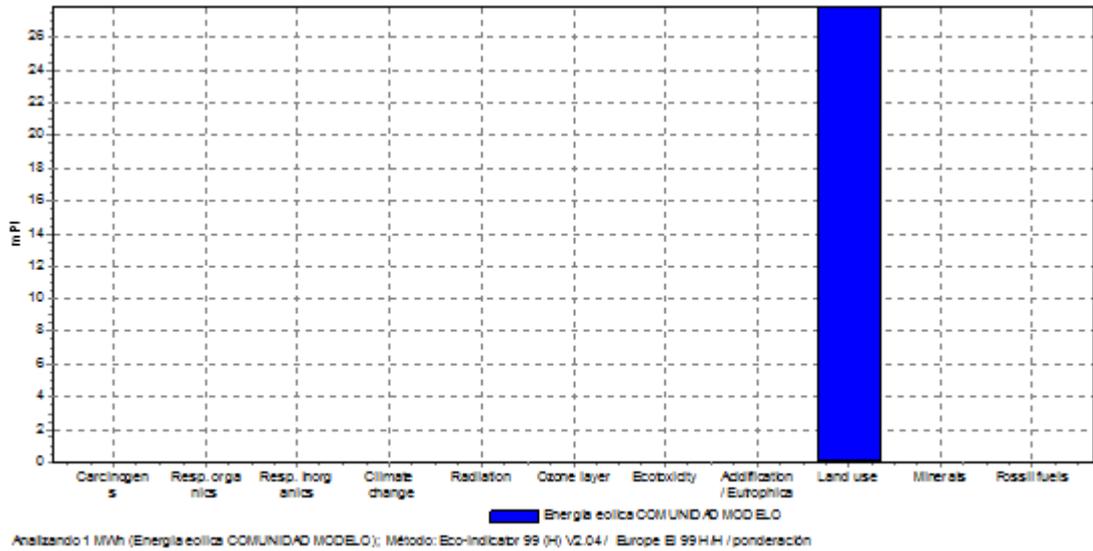
**Análisis de ponderación del proceso por categorías de impactos y daños para los diferentes esquemas de generación de electricidad ajustados a la comunidad modelo.**



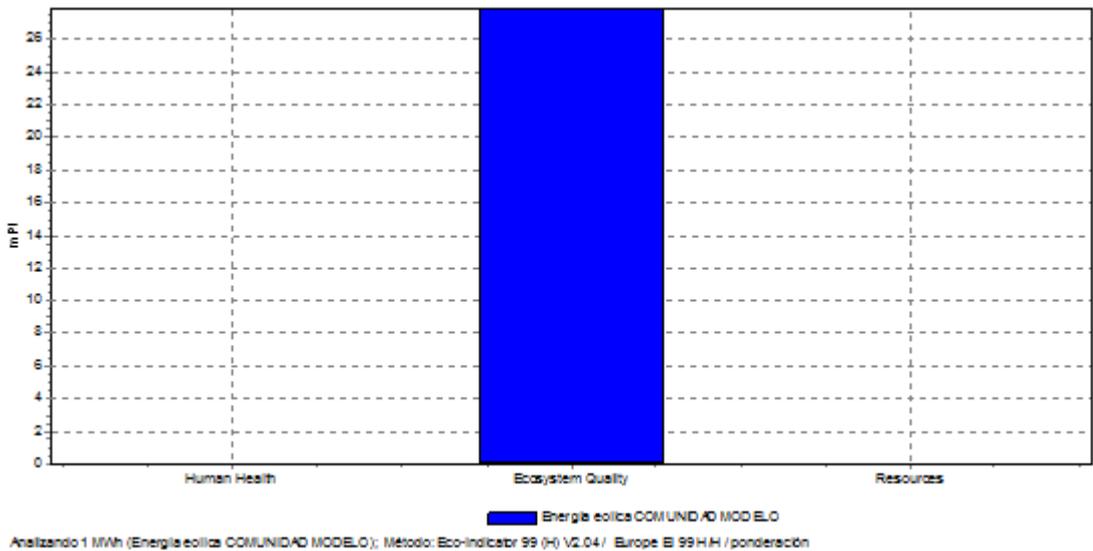
Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de impactos utilizando grupos electrógenos



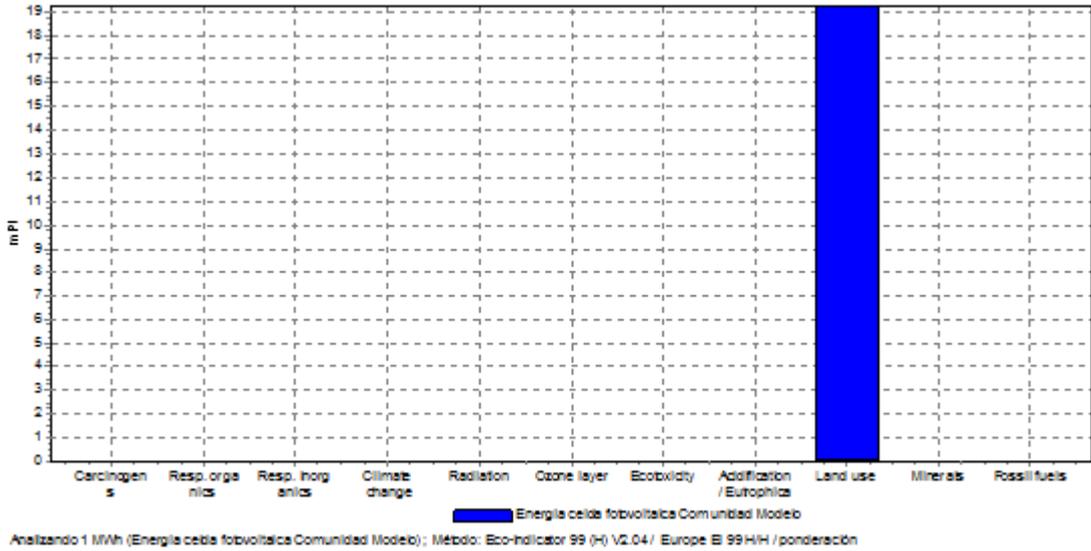
Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de daños utilizando grupos electrógenos



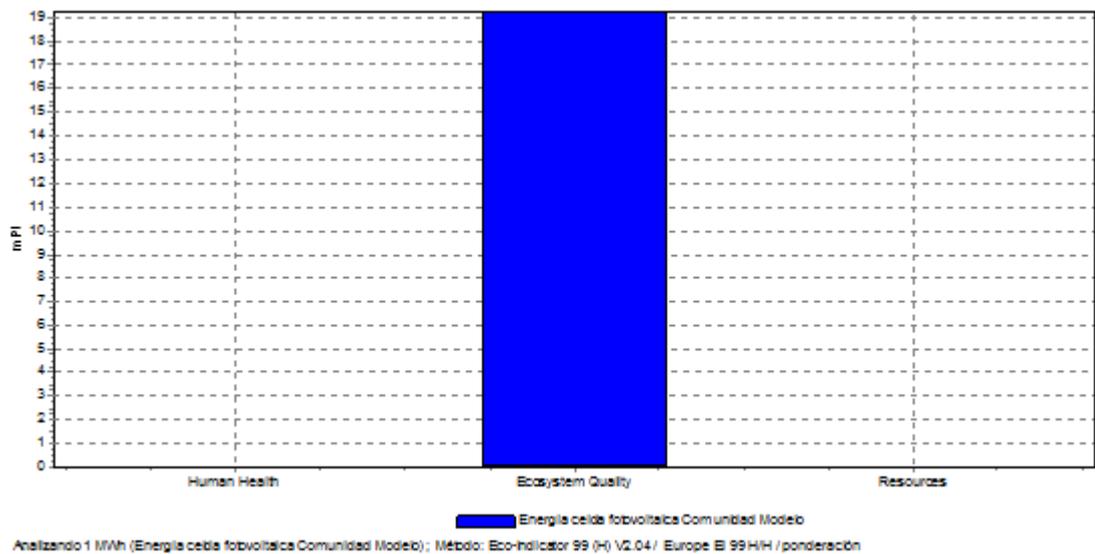
Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de impactos utilizando energía eólica



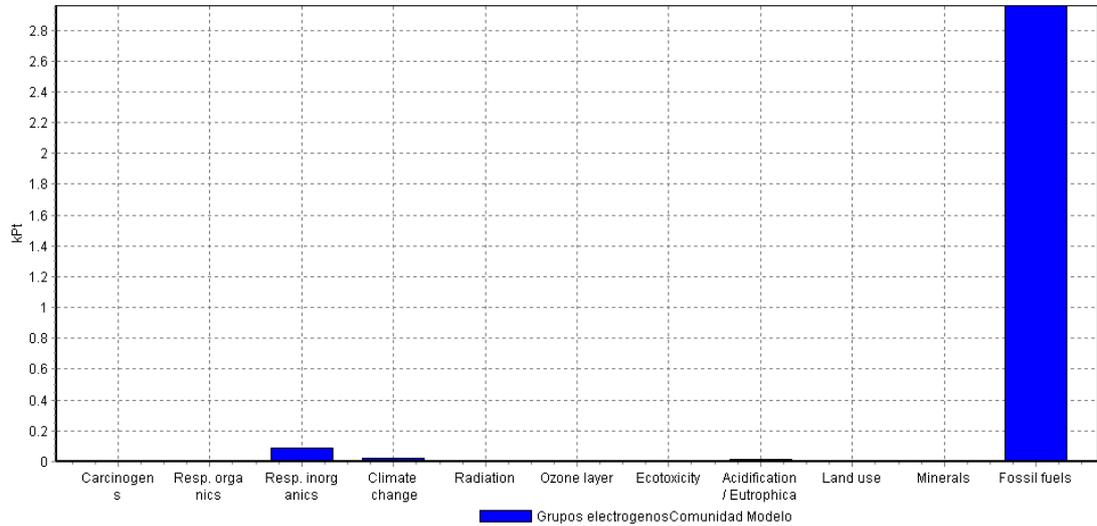
Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de daños utilizando energía eólica



Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de impactos utilizando energía solar fotovoltaica

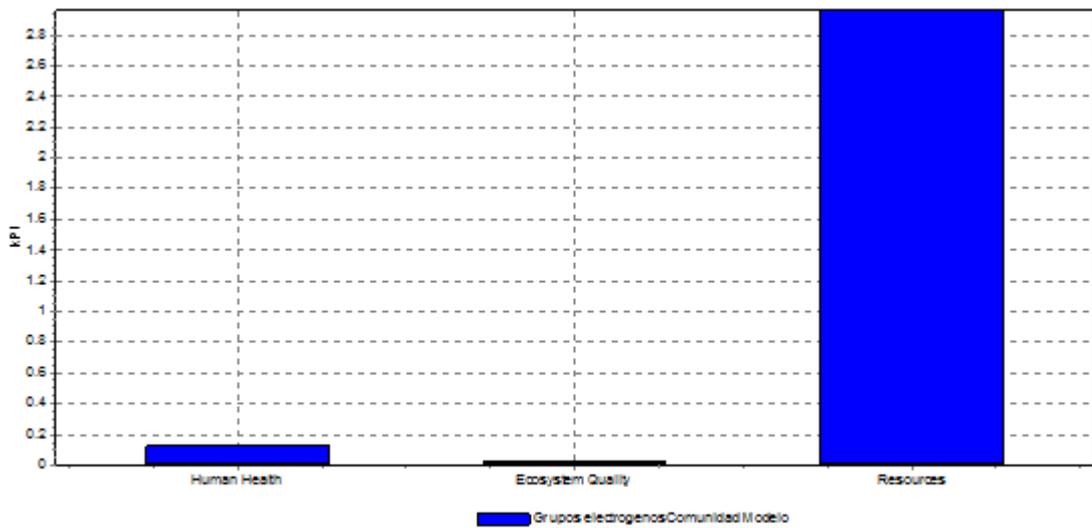


Contribución de generación de 1MW-h a las categorías de daños utilizando energía solar fotovoltaica



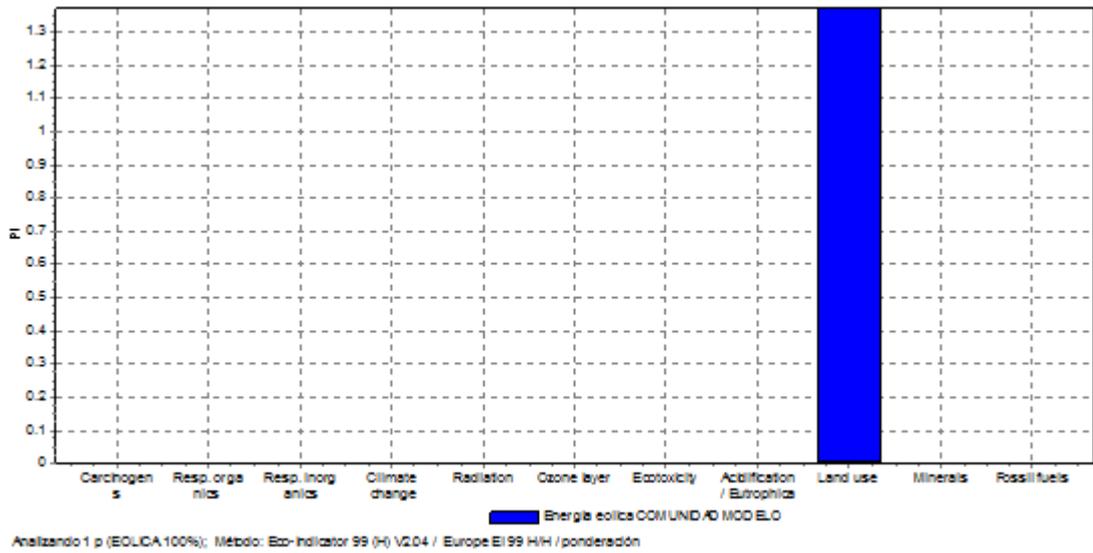
Analizando 1 p (GRUPO ELECTROGENO100%); Método: Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 HH / ponderación

Contribución de generación de 49.28 MW-h a las categorías de impactos utilizando grupos electrógenos

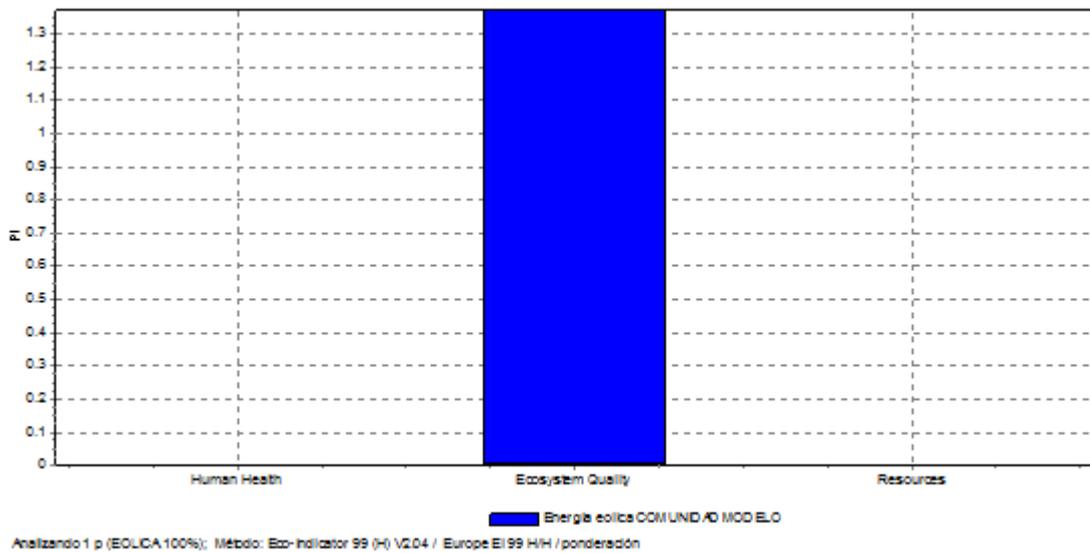


Analizando 1 p (GRUPO ELECTROGENO100%); Método: Eco-indicator 99 (H) V2.04 / Europe EI 99 HH / ponderación

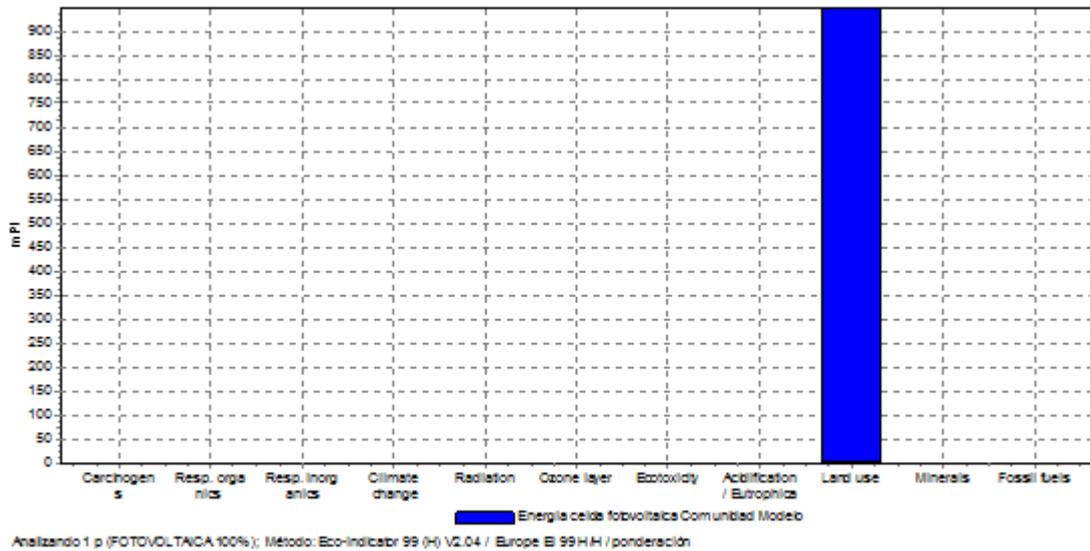
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando grupos electrógenos



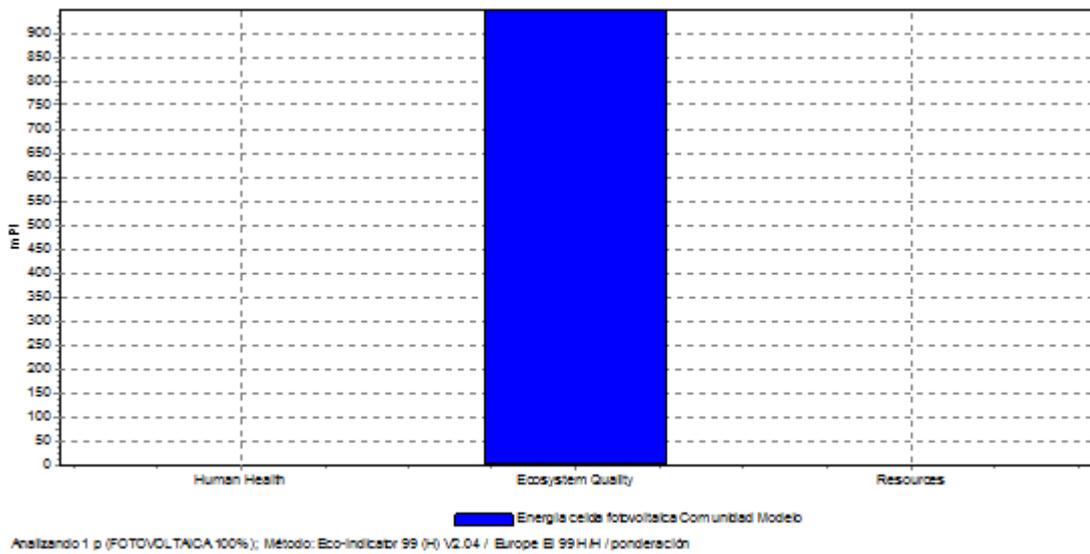
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando energía eólica



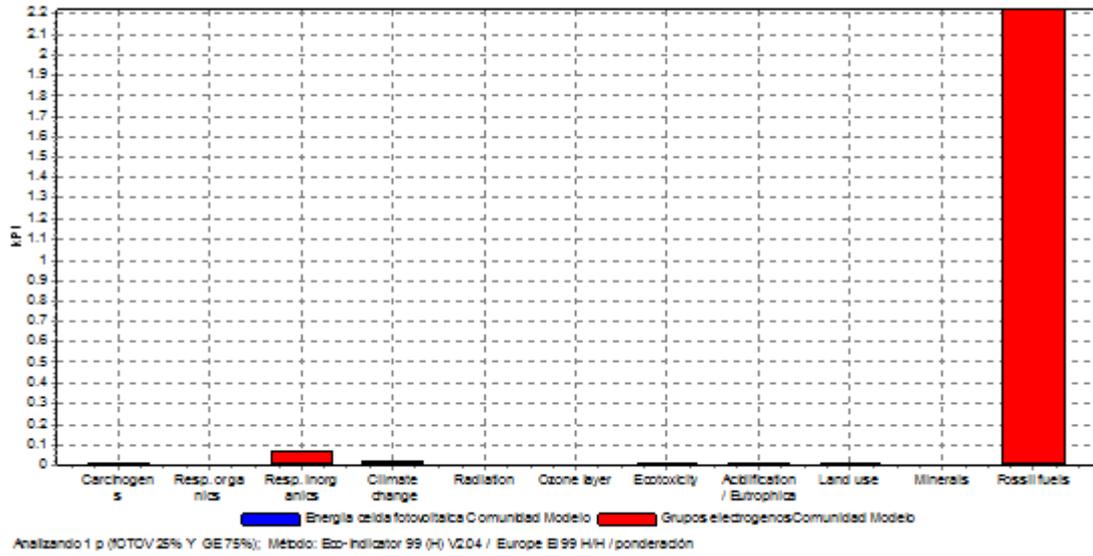
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando energía eólica



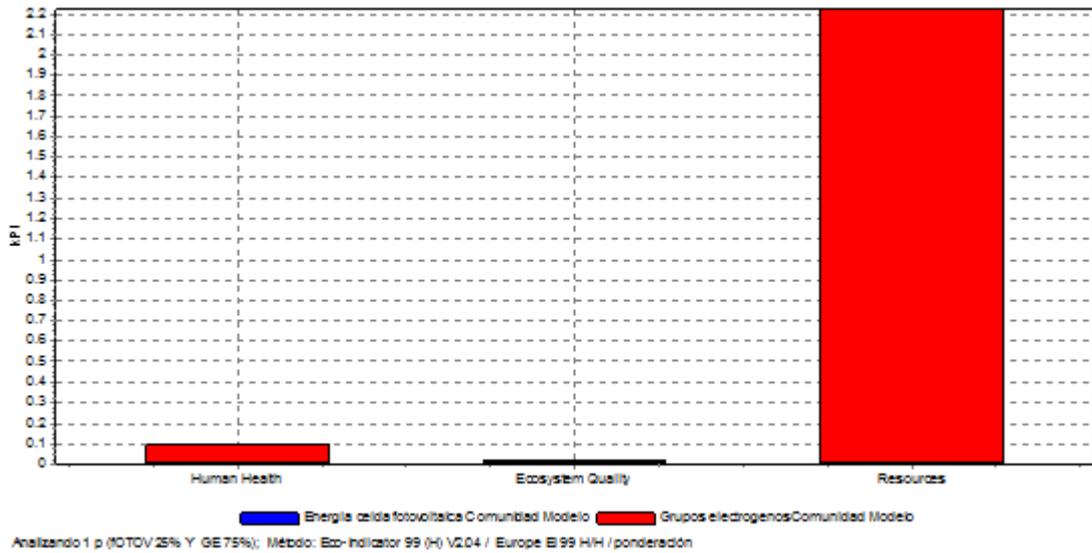
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando energía eólica y energía solar



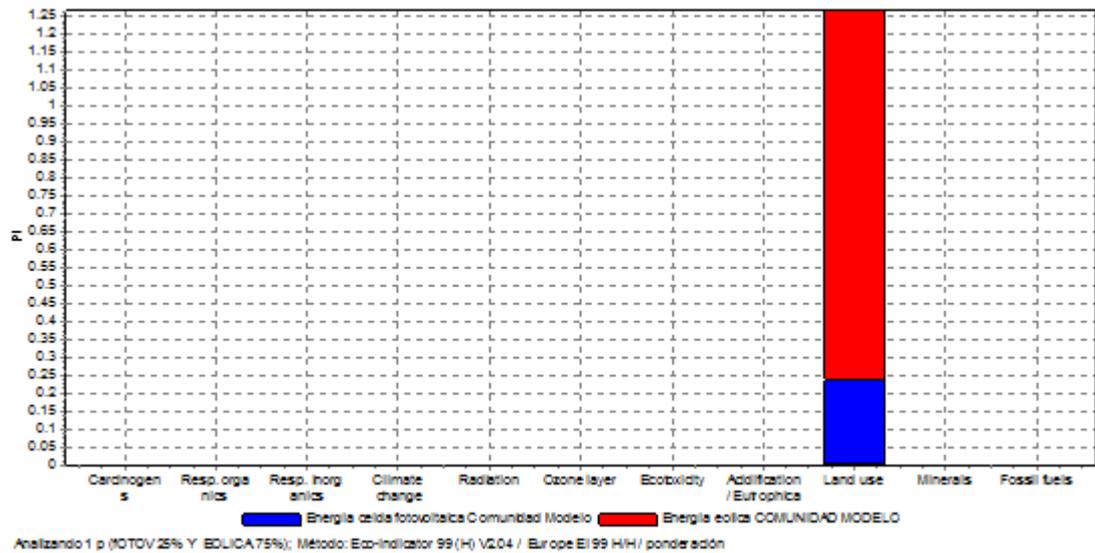
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando energía eólica y energía solar



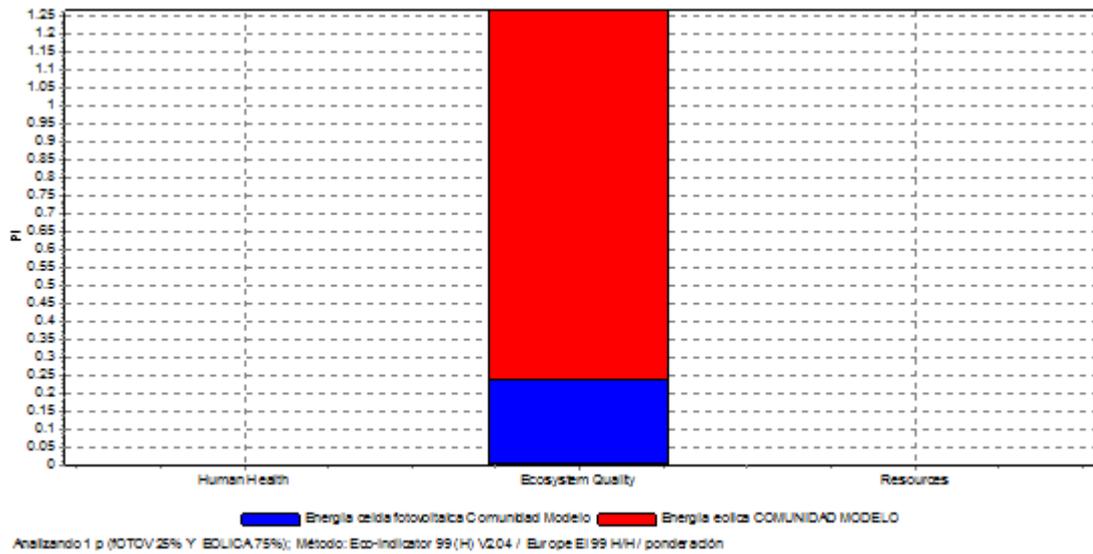
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando grupos electrógenos y energía solar fotovoltaica



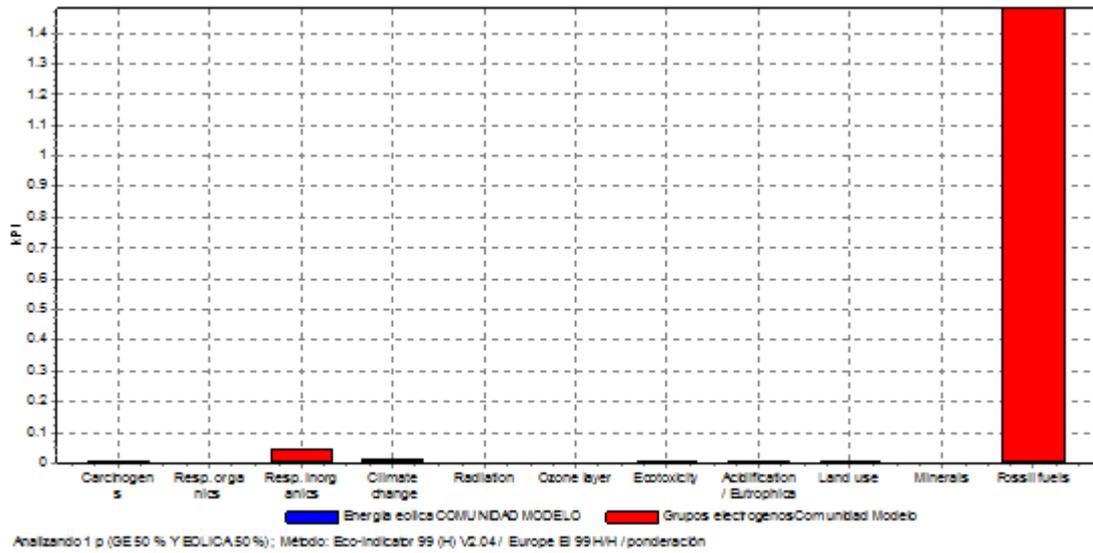
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando grupos electrógenos y energía solar fotovoltaica



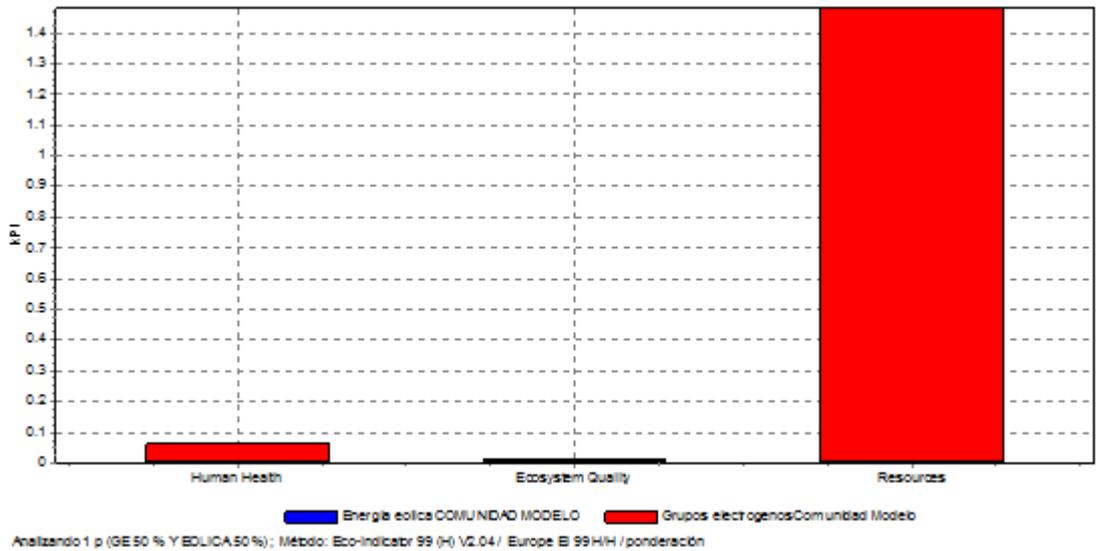
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando energía solar fotovoltaica y energía eólica



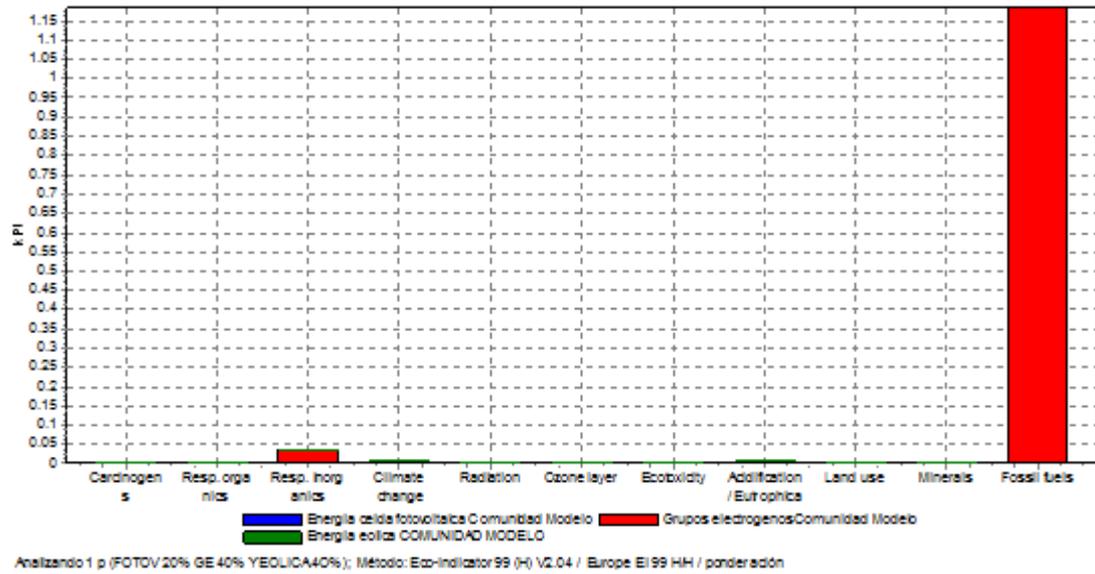
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando energía solar fotovoltaica y energía eólica



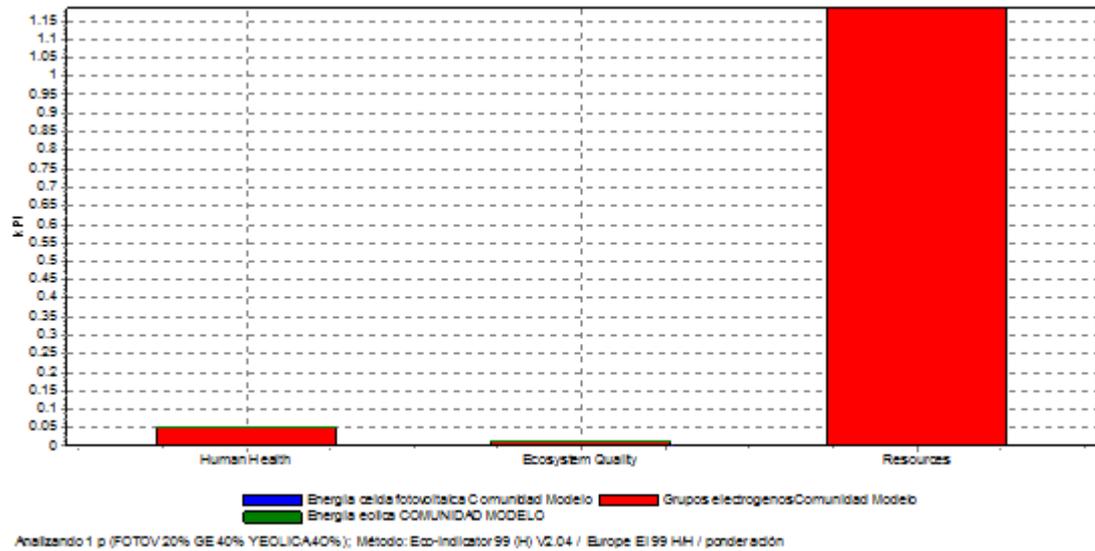
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando grupos electrógenos y energía eólica



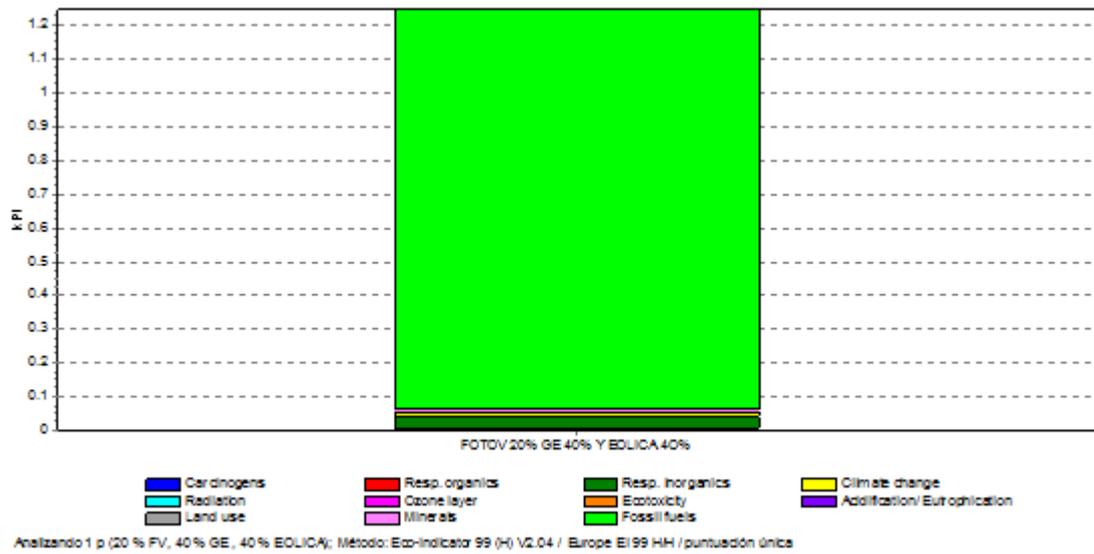
Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando grupos electrogenos y energía eólica



Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de impactos utilizando grupos electrogenos, energía solar fotovoltaica y energía eólica



Contribución de generación de 49,28 MW-h a las categorías de daños utilizando grupos electrógenos, energía solar fotovoltaica y energía eólica



Comparación final de las diferentes alternativas de generación de electricidad considerando las categorías de impactos