

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.
APLICACIÓN PARA UNA CENTRAL EÓLICA Y UNA CENTRAL SOLAR
FOTOVOLTAICA.”**

TESIS DE GRADO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

DIRECTOR:

Ing. Hernando Efraín Merchán Manzano.

AUTOR:

Yadira Natalí Ortiz Cevallos

CUENCA-ECUADOR

2015



Resumen

La energía eólica en el Ecuador, va siendo implementada con cierta recurrencia, Villonaco se encuentra funcionando, Minas de Huascachaca está en la fase de estudios, en tanto que la energía solar fotovoltaica va cobrando importancia progresiva tanto en usos colectivos, cuanto individuales.

Estas realidades, han motivado el presente estudio, en el que se pretende obtener información suficiente, que resulte de la comparación de estos dos sistemas, considerando al efecto, costos, capacidades, y niveles de impacto ambiental.

Aprovechando las herramientas informáticas existentes y la red, se puede contar actualmente con información precisa, desde todas las aristas que este estudio requiere; por ello se han incorporado datos, referencias, valores y más detalles, de tal forma que se pueda contar con un estudio integral sobre el tema.

Las conclusiones, permiten definir qué sistema resulta más beneficioso, para el estado y para el planeta.

Palabras Claves: Solar PV, Eólica, Renovable, Generación, LCA, Análisis del Ciclo de Vida



ABSTRACT

Wind power in Ecuador, is being implemented with some recurrence, Villonaco is operating, Minas de Huascachaca is in the study phase, while solar photovoltaic is gaining increasing importance in both collective uses, the individual.

These realities have motivated this study, which is to obtain sufficient information resulting from the comparison of these two systems, purpose, cost, capabilities and levels of environmental impact.

Taking advantage of existing tools and the network, you can now have accurate information from all edges that this study required; why are incorporated data, references, values and details, so you can have a comprehensive study on the subject.

The findings, to define what is most beneficial system for the state and the planet.

Key Words: Solar PV, Wind power, Generation, LCA, Life Cycle Assesment



Contenido

Resumen	1
Contenido	3
<i>Agradecimiento.</i>	8
<i>Dedicatoria.</i>	9
Introducción.....	10
Justificación.....	12
Objetivo General.....	13
Objetivos específicos	13
Capítulo 1	14
Antecedentes	14
1.1. Cambio Climático.....	14
1.2. Energías no Renovables y Energías Renovables.....	17
1.3. Análisis del Ciclo de Vida	20
1.4. Unidad de Medida de los Impactos Medioambientales.....	28
Capítulo 2	30
Principios de Generación	30
1 Generación Eólica	30
1.1 Historia	30
1.2 Origen de la Energía Eólica.	31
1.3 Los aerogeneradores	35
1.3.1 Energía eólica	36
1.3.2 Potencia desarrollada por un aerogenerador.....	36
1.3.3 Influencia de la altitud en la densidad del aire (temperatura y presión estándar).....	40
1.4 Medida de la velocidad del viento	41
2 Sistema Solar Fotovoltaico.....	42
2.1 Tipos de célula solar	45
2.2 Panel Solar.....	45
2.2.1 Energía en un panel solar.....	46
2.3 Sistemas Fotovoltaicos	46



2.3.1 Componentes	47
2.4 Parque Solar Fotovoltaico	50
Capítulo 3	52
Aplicación de la técnica del análisis del ciclo de vida.....	52
1 Definición de Objetivos y Campo de Estudio.....	52
2.5 Diagrama de Flujo de las fases a ser analizadas en el LCA	53
1.2. Supuestos y limitaciones	53
2. Aplicaciones de la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida.	54
2.1. Análisis de las categorías de impacto.....	54
2.1.1. Potencial de calentamiento global.....	54
2.2.2. Requerimientos de energía	55
3 Análisis del inventario del ciclo de vida	55
2.6 Turbinas de Viento	55
2.6.1 Características Principales	55
2.6.2 Fabricación e instalación	56
2.6.3 Transporte.....	58
2.6.4 Operación y mantenimiento.....	58
2.6.5 Desmantelamiento y reciclaje	58
2.6.6 Materiales Requeridos	59
2.7 Planta Solar Fotovoltaica.....	60
2.7.1 Características	60
2.7.2 Fabricación e instalación	60
2.7.3 Fases para implementar una planta solar fotovoltaica son:.....	61
4. Resultados de la evaluación del Impacto.....	64
2.8 Software GEMIS	64
2.9 Aplicación del Software.....	64
2.9.1 Turbinas de Viento aplicación en GEMIS	65
2.9.2 Planta solar fotovoltaica aplicación GEMIS.....	73
5 RETscreen@International	80
6. Valoración.....	80



6.1	Metodología de los Ecoindicadores	81
6.2	Tree	81
6.3	Trabajar con Tree	81
6.4	Resultados.....	82
	Capítulo 4	84
	Interpretación de los resultados y valoración	84
1	Emisiones al aire	84
7	Emisiones de gases de efecto invernadero.....	85
8	Residuos.....	87
9	Encabezamiento de Aguas Residuales.....	88
10	Recursos necesarios y acumulados.....	89
11	Uso de recurso acumulado de energía.....	90
12	Recursos requeridos	91
13	Uso del suelo.....	92
14	Costo Económico.....	93
	Capítulo 5	100
	Conclusiones y Recomendaciones	100
1	Conclusiones.....	100
2.	Recomendaciones.....	104



Universidad de Cuenca

Cláusula de Derechos de Autor

Yo, Yadira Natalí Ortiz Cevallos, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca en base al artículo 5, literal c, de su reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo, por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 16 de abril de 2015

Yadira Natalí Ortiz Cevallos

0104210422



Universidad de Cuenca

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Yadira Natalí Ortiz Cevallos, autor de la tesis '' ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA. APLICACIÓN PARA UNA CENTRAL EÓLICA Y UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA''. Declaro que, todas las ideas opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 16 de abril de 2015

Yadira Natalí Ortiz Cevallos

0104210422



Agradecimiento.

Quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, institución en la que realice mis estudios universitarios, también a los maestros, que impartieron sus enseñanzas en la escuela de Ingeniería Eléctrica, y más aún, a aquellos que me apoyaron, y me alentaron a no renunciar a mi sueño de ser Ingeniera, pese a las dificultades en las aulas; Pero también, quiero agradecer a los otros maestros, a los que nos enseñaron que siempre van a existir obstáculos que vencer, porque fueron ellos quienes nos templaron el coraje, y nos enseñaron a ser aún más fuertes, y, que en esta carrera no se necesita solo aprender unas cuantas formulas, o saber manejar uno que otro programa, sino, que debe ir atada sólidamente a la valentía la constancia y a los corazones de los estudiantes, siendo esta la ecuación, cuyo resultado sea el triunfo.

Agradecer de manera especial al Ing. Hernando Merchán M. por haber colaborado como director de mi trabajo investigativo, por su tiempo, paciencia y dedicación, para el desarrollo del mismo. Creo necesario hacer un reconocimiento también al Ing. Juan Leonardo Espinoza, por el apoyo que me brindó durante todo el desarrollo de este trabajo.

Y, es justo también mencionar a mi padre el Dr. Gerardo Ortiz, por siempre estar conmigo, por su apoyo incondicional, y por creer en mí, aún en aquellos momentos sombríos de mi carrera, por saber mostrarme que siempre hay una opción más, y ayudarme a descubrir en realidad cuánto pesa la adversidad frente a un corazón cargado de esperanza, de sueños y de ganas de superarse.



Dedicatoria.

Este trabajo quiero dedicarlo a mi familia, principalmente a mis padres, quienes me apoyaron en todo sentido, y en todas las formas que lo necesitara, durante toda mi existencia, siendo sólidos pilares de mi vida. A mis hermanos con quien he compartido toda esta grata experiencia, gracias por siempre estar conmigo A mi esposo, por comprenderme, apoyarme y acompañarme en este duro camino, siendo parte importante de mi etapa como estudiante, por siempre creer en mí, y por aprender a soñar conmigo.

Aunque en este momento ya no este acompañándonos, quiero dedicar este trabajo con el que culminó mi periodo de estudiante a mi abuelita Jesús Cabrera, por su preocupación, su ternura, por ese abrazo que siempre llegaba en el momento que más lo necesitaba, por todos aquellos bellos recuerdos de mi niñez, por disfrutar de cada triunfo en mi vida como si fuera suyo, y por mostrarme lo dulce que es el amor de una abuela.



Introducción

La volubilidad de los precios del petróleo, sucedida ya sea por cálculo de una potencia imperial, o bien por que la dinámica del capitalismo, obliga a este tipo de cimbrones económicos; nos obligan a reflexionar nuevamente, sobre la necesidad de que se vayan progresivamente, abandonando todas las actividades energéticas, que tienen como fuente de generación, al petróleo.

Sin embargo, se discute mucho sobre las fuentes alternativas de generación, centrándose el debate, en la disponibilidad de tecnología en unos casos, en otros a la dependencia excesiva del albur del clima; soslayando otras posibilidades de generación absolutamente reales, e inclusive más económicas; y, desde luego, amigables con el ambiente.

Por cuanto en el Ecuador, se han emprendido grandes proyectos hidráulicos, se consideró innecesario profundizar en su estudio y análisis, y menos aportar con criterios respecto de la conveniencia de su implementación; pues de hecho, múltiples centrales hidroeléctricas se están construyendo a lo largo y ancho del País, de tal manera que ya no es el momento de formular razonamientos sobre sus costos, y sobre todo sobre lo beneficioso de su implementación.

En esta perspectiva, y por cuanto no se han iniciado aún, grandes proyectos de generación eléctrica basados en fuentes renovables, sí se considera oportuno, realizar un estudio comparativo entre dos fuentes específicas: la eólica y la Solar PV, cuyas bondades y elementos positivos, requieren ser valorados en su justa dimensión, a fin de contar con suficientes elementos de juicio, antes de tomar decisiones sobre la conveniencia de su implementación.

Con el fin de brindar, no sólo un aporte de tipo conceptual teórico, sino sobre todo de puntualizar con los respaldos técnicos respectivos, las ventajas o desventajas de un sistema de generación frente del otro, el presente trabajo de investigación, incorpora información imprescindible, con la que se pueden obtener conclusiones sólidas, respecto de la relación costo beneficio de los dos sistemas, y de la trascendencia del impacto ambiental que produciría cada una de ellas.

La importante cantidad de información y estudios realizados a nivel mundial, gracias al uso del internet, han permitido contar con elementos de base imprescindibles, al fin de garantizar que este estudio, cuente con el suficiente soporte técnico.



Es de esperar que, una mirada sobria y serena a este estudio, permita reconocer que muchos ecuatorianos, tienen interés en la aportación de su voluntad y compromiso leal con la sociedad, y que merezcan ser valorados en su justa dimensión



Justificación

Muchos países, entre ellos el Ecuador, se han insertado en la propuesta de abandonar el uso de hidrocarburos en la generación eléctrica. Sin embargo, debido a la demanda cada vez más exigente de electricidad, se han iniciado ya la construcción de proyectos, que por una parte permitan que un estado, deje de depender de un recurso no renovable, y que por otra, no alimenten el efecto invernadero, y el calentamiento global.

Con la finalidad de ir implementando proyectos de energía limpia, otros países, entre ellos, Reino Unido, Alemania, Bélgica, Suecia, Suiza, Japón, China, Corea y Tailandia, México, Chile, Brasil, Argentina y Colombia, han iniciado desde los años sesenta, estudios orientados a la determinación de costos y beneficios en la posible implementación de centrales que aprovechen las fuentes renovables de energía; sin embargo en el Ecuador, tales estudios nunca se realizaron, minimizando de hecho su valor e importancia.

Cuáles fueron los motivos que indujeron a la postergación de este tema? Pueden ser múltiples; pudiendo anotarse entre ellos temas económicos, técnicos, e inclusive políticos; sin descartar el interés de ciertos grupos de poder, que mueven sus rentas y beneficios, por medio de la importación de hidrocarburos o de sus aditivos, para posibilitar su uso generalizado en el Ecuador.

Solamente se conocen los estudios realizados por el INER, que todavía no están concluidos, por lo que no pueden considerarse aún, un aporte al estado.

Los estudiantes de ingeniería, deben considerar como su obligación, aportar con estudios, análisis, razonamientos, que permitan iniciar o ampliar el debate, razonamientos sobre la conveniencia de la implementación de tal o cual sistema de generación, sabiendo que existen algunos elementos, que deben ser incorporados en el momento de su análisis.

Constitucionalmente, se reconocen los derechos de la naturaleza, como uno de los espacios más relevantes de nuestro estado de derechos; circunstancia que tiene un peso importante, en la mira de ir construyendo un ecosistema planetario, que sea refugio digno de la humanidad.



Objetivo General

- Medir comparativamente la sostenibilidad de un proyecto y tomando como base la unidad kWh, sus efectos tanto a nivel económico cuanto ambiental.
- La posibilidad de cuantificar y, por tanto, de comparar cuantitativamente los impactos medioambientales de las diferentes tecnologías de generación de electricidad, constituye la principal novedad de este trabajo científico respecto a otros.

Objetivos específicos

- Determinación del grado de deterioro de los equipos que producen energía eléctrica.
- Definir el impacto negativo que produce el deterioro de los equipos de producción de energía renovable y sus efectos en el área ambiental.
- Contabilizar el ahorro o el incremento de costos según el caso entre una y otra de las fuentes de producción de energías renovables
- Determinar ¿Cuál de las dos fuentes de energía renovable es más sostenible, desde el punto de vista económico considerando el beneficio ambiental?
- Determinar, el impacto ambiental que se produciría como efecto inmediato de las actividades productivas de energías renovables y su posible incremento negativo en el tiempo.
- Definir la sostenibilidad de un proyecto, a partir de los estudios con los que se cuenta actualmente en relación con las normas definidas técnica y socialmente.



Capítulo 1

Antecedentes

1.1. Cambio Climático

¿Por qué el Ecuador en la actualidad invierte en Automóviles Eléctricos?, ¿Por qué en nuestro país se da preferencia a la inversión de generación en Energía Limpia?, ¿Por qué en la constitución del Ecuador en el Artículo 15 versa que: 'El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto'? Estos no son actos al azar obedecen a una corriente mundial ambientalista en el que nuestro país no puede permanecer aislado, y más aún que, desde el año 2008 con la nueva constitución el Ecuador paso de ser un estado de derecho a ser un estado de derechos; es decir que hoy se dará prioridad al respeto a los derechos del ser humano y de la naturaleza, y que en caso de que la ley se contradiga primaran los derechos del ser humano y de la naturaleza.

No es raro escuchar hablar del buen vivir hoy en día porque es una forma de acción del gobierno Ecuatoriano pero el sumak kawsay va más allá de tener carreteras en buen estado, agua potable, o más hospitales, la visión cosmogónica andina habla de un equilibrio, y por tanto se entiende la armonía con la naturaleza, respetándola.

Hoy en día, el cambio climático está teniendo muchos impactos apreciables, que van desde los aumentos de la temperatura a la subida del nivel del mar como consecuencia del derretimiento de los casquetes polares, pasando por tormentas e inundaciones, cada vez más frecuentes. Si no tomamos medidas, el cambio climático provocará daños cada vez más costosos y afectará al equilibrio de



nuestro entorno natural, que nos provee de alimentos, materias primas y otros recursos vitales. Esto perjudicará a nuestras economías y podría desestabilizar a las comunidades de todo el mundo.

Los principales gases de efecto invernadero son desde el aparentemente inofensivo vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, los óxidos nitrosos y los gases fluorados.

- El vapor de agua es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es el que más contribuye al efecto invernadero debido a la absorción de los rayos infrarrojos. Es inodoro e incoloro.
- Dióxido de carbono (CO₂), gas carbónico y anhídrido carbónico. Es el elemento que más contribuye al efecto invernadero antropogénico. En los países industrializados se calcula que el 80% del efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero son de Dióxido de Carbono. En nuestro planeta existe una cantidad limitada de carbono que pertenece a un complejo ciclo donde el carbono se desplaza a través de la atmósfera a los océanos y a la biosfera. El CO₂ puede permanecer en la atmósfera entre 200 años según sea su ciclo.
- Metano (CH₄) Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. El metano es el segundo gas de efecto invernadero antropogénico relativamente potente que contribuye en un 15% al calentamiento global para los países industrializados. Desde los inicios de la revolución Industrial las emisiones de CH₄ se han duplicado y han



contribuido en un 20% al efecto invernadero. El CH_4 tiene un potencial de calentamiento global de 23; Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada kg de CH₄ calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de CO₂, sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que el metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero.

- Óxidos de nitrógeno (N_2O) Este gas se libera en forma natural de las selvas tropicales y los océanos producto de la descomposición bacteriana del suelo. Las fuentes antropogénicas son: la quema de combustibles fósiles, el uso de abono y fertilizantes a base de nitrógeno, la producción química industrial y el tratamiento de residuos. En los países industrializados el N_2O representa el 4% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el inicio de la Revolución Industrial la concentración de N_2O ha aumentado en un 16% aproximadamente y esto ha contribuido entre un 4% y 6% a acentuar el efecto invernadero. La capacidad de absorber calor del N_2O es 310 veces más que la dióxido de carbono y permanece en la atmósfera hasta por 170 años.
- Clorofluorocarbonos (CFC) El clorofluorocarburo, clorofluorocarbono o clorofluorocarbon, es cada uno de los derivados de los hidrocarburos saturados. Debido a su alta estabilidad fisicoquímica y su nula toxicidad, han sido muy usados como líquidos refrigerantes, agentes extintores y propelentes para aerosoles. Los gases fluorados de efecto invernadero son los únicos que solamente tienen una componente antropogénica en sus emisiones fueron creadas por el hombre con fines de industriales y pueden atrapar y concentrar el calor 22000 veces más que el dióxido de carbono con un tiempo de permanencia en la atmósfera de varios miles de años.



El ciclo natural por el cual la energía solar calienta la superficie de la tierra implica una reflexión de calor como energía infrarroja hacia la atmósfera; esta fase se ve interrumpida por la absorción de los ya mencionados gases de efecto invernadero, provocando una elevación de la temperatura. Este efecto se da naturalmente, de hecho permite que se desarrolle la vida en la tierra. Tal como un invernadero común, permite que la temperatura media de nuestro planeta sea de 15°C. Sin el efecto invernadero natural los científicos calculan que la temperatura de la Tierra podría ser de -18°C.

1.2. Energías no Renovables y Energías Renovables.

En los últimos años se ha desatado controversia debido a que tipo de fuentes de energía deberíamos usar pensando en un desarrollo sustentable, es decir un desarrollo económico que se pueda sostener en el tiempo, pero, sin causar grandes daños ambientales.

1.2.1. *Energías no Renovables (ENR)*

Como su nombre lo expresa sus fuentes energéticas son recursos que no se renuevan, o no son capaces de volverse a generar, como: el carbón, el uranio, el petróleo, el gas natural.

Aunque este tipo de energía ha sido el más usado y el primero en ser conocido por el ser humano como el fuego a base de carbón, es en la Revolución industrial en el año de 1780 donde lograron la cima.

En la actualidad dependemos por completo de este tipo de energía debido a que no sólo sirven para generar energía eléctrica que es necesaria para el uso de los tan necesarios: celulares, computadores, electrodomésticos etc. Sino también son la base de nuestro sistema de transporte debido a que son los derivados de petróleo la principal fuente de energía de los automóviles creando grandes cantidades de contaminación.



- Ventajas
 - Es una energía rápida.
 - Es una energía barata
- Desventajas
 - Son contaminantes.
 - No se renuevan.
 - Provocan el calentamiento global.
 - Hace que seamos dependientes energéticos.
 - Provocan la lluvia ácida.
 - Aumentan el agujero de la capa de ozono.
 - Destruye grandes zonas, al extráelo.
 - Provocan guerras

1.2.2. *Energías Renovables (ER)*

Para empezar, las energías renovables son la alternativa más limpia para el medio ambiente. La energía se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), frente a las fuentes convencionales, las energías renovables son recursos limpios cuyo impacto es prácticamente nulo y siempre reversible.

Se consideran **energías renovables** la energía solar, la eólica, la geotérmica, la hidráulica. También pueden incluirse en este grupo la biomasa y la energía mareomotriz.

- Energía eólica. Es la energía cinética producida por el viento. Dentro de la energía eólica, podemos encontrar la eólica marina, cuyos parques eólicos se encuentran mar adentro.
- Energía solar. Este tipo de energía nos la proporciona el sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente). El uso de la energía del sol se puede derivar en energía solar, y, solar fotovoltaica



- La energía hidráulica: Mediante el aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas.
- La energía mareomotriz: se consigue sudando la fuerza de las mareas.
- Geotérmicas: usa el calor interno de la Tierra.
- Biomasa: usa la energía de la descomposición o combustión de material biológico.
- Ventajas
 - Siempre se podrán aprovechar, hasta que el Sol deje de existir.
 - SueLEN estar al alcance de la mano: energía solar.
 - Pueden ser usadas, en zonas aisladas
 - No contaminan tanto, como las ENR.
 - No emiten CO₂.
 - No provocan calentamiento global.
 - No aumentan el agujero de Ozono.
- Desventajas
 - Son caras.
 - Tienen bajo rendimiento.
 - Impacto visual.
 - Para algunas de ellas, hace falta grandes extensiones.
 - La producción de energía eléctrica es irregular.
 - Algunas pueden resultar peligrosas para el medio ambiente (aerogeneradores y aves).

El tipo de energía a usar basándonos en las consideraciones expuestas quedan a criterio de las políticas de cada gobierno, pero, este problema va más allá de simples corazones ambientalistas debemos considerar que es el dinero el que



mueve gobiernos, economías pero, cuando hablamos de economía del primer mundo en el sistema capitalista que vivimos, lamentablemente no hablamos de la economía de la población en general sino, se considera los beneficios de aquellas manos en las que está concentrada la riqueza, tal vez es necesario recordar porque EEUU, se negó a apoyar a la tecnología de automóviles eléctricos que no es del todo nueva, es este País en el que se encuentran las más grandes empresas petroleras del mundo siendo el propio País uno de los más grandes explotadores de Petróleo, si se populariza otro tipo de tecnologías en los que se prescinda de esta materia prima su economía se vería directamente comprometida, entonces no es un simple tema ecológico el que estamos abordando, sino también económico, pero cabe la pregunta que reposa en la conciencia de muchos **es justo que a base de sustentar la economía de pocos países, se atente contra el bienestar de la población mundial.** Pero está aquí la parte vital de este trabajo investigativo: exponer que la contaminación no se da únicamente en el momento de la generación de energía, sino se debe considerar el proceso completo desde la extracción hasta el manejo de desechos, que existen formas alternativas de generar energía limpia sin contaminación y sin atentar contra el ambiente, demostrando que las energías renovables son la alternativa no solo para no contaminar sino también al depender de la naturaleza y de las bondades del entorno geográficos en donde vivimos, dejar de ser dependientes de recursos fósiles que muchas veces los países de tercer mundo no los posee, o no tiene la capacidad para refinarlos.

1.3. Análisis del Ciclo de Vida

En la actualidad, el heredar un medio ambiente apto para las futuras generaciones y asegurar así, la continuación de la civilización es un tema que está en la conciencia de la gran mayoría de la población.

Vivimos en un mundo globalizado, y no podemos pretender mantenernos sordos ante las corrientes mundiales de protección ambiental, y menos aún tratar de ser ciegos ante los evidentes cambios climáticos que estamos presenciando. Hoy en día existen muchos motivos que han originado cambios en la conciencia ambiental de las personas, volviéndose consumidores más exigentes tanto en la conservación de los recursos naturales, en la protección de medio ambiente, como en la calidad de productos y en la atención que reciben. Son estas razones que obligan a la Industria a asumir el reto de producir con alta calidad, y satisfacer las

expectativas de los consumidores y de otras partes interesadas en la protección medioambiental.

“Desde la cuna, hasta la tumba” el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), o LCA por sus siglas en inglés (Life Cycle Assessment). Es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el medio ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida.

Cuantifica el uso de recursos naturales en forma de ‘entradas’ (energía, materias primas, agua...) y ‘salidas’ (emisiones de CO₂ u otros vertidos). Se utiliza para optar entre los diferentes procesos de fabricación de un mismo producto, ponderando el empleo de recursos y emisiones. También sirve para evaluar las diferencias entre una misma categoría de artículos (por ejemplo entre un lavavajillas normal y uno concentrado). Permite conocer la ‘mochila ecológica’ del producto a lo largo de las diferentes etapas de su vida.

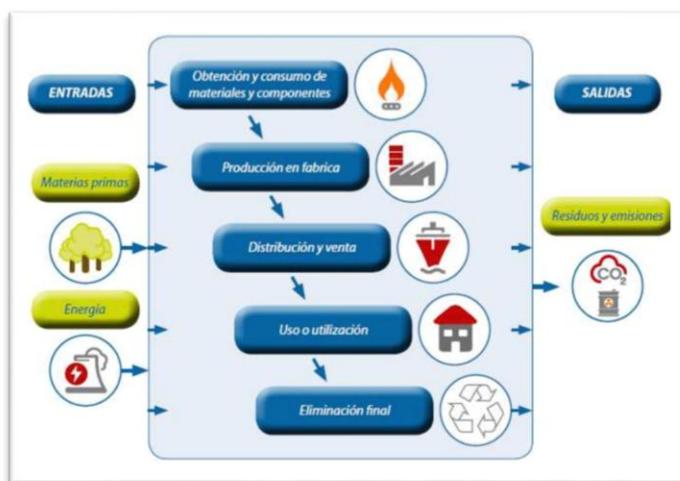


Figura 1.1 Concepto de la Perspectiva de un ACV y fases

El análisis de ciclo de vida (LCA) está definido en la serie de normas ISO 14000 como “la compilación y evaluación de los suministros y salidas junto con sus potenciales impactos al medio ambiente de un producto, a lo largo de su ciclo de vida”



En base a estos resultados se toman todas las etapas que comprometen la producción de un bien, dejando en manos del productor la decisión de modificar el resto de las etapas con el objetivo de obtener mejoras ambientales en su producto. Podemos definir como la principal característica Podemos definir como la principal característica del LCA el enfoque holístico que presenta ya que pretende la integración de todas las etapas en la fase de producción y analizarla como un solo sistema, mas no de forma independiente. El LCA no es una evaluación de riesgo y esto se debe a que LCA no tiene en cuenta la exposición, que es un factor esencial para evaluar el riesgo. El LCA cuantifica las emisiones causadas por los procesos de producción, pero el impacto real de esas emisiones depende de cuándo, dónde y cómo se liberan en el ambiente. Los impactos medioambientales que se valoran habitualmente y que revisten un interés especial para los evaluadores ambientales incluyen el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono en la troposfera, eutrofización, acidificación y otras muchas.

Las aplicaciones ambientales más importantes del LCA están en:

- Analizar el origen de los problemas relacionados con un producto particular
- Comparar mejoras o variantes de un mismo producto
- Diseño de nuevos productos
- Escoger entre un numero de productos similares

1.3.1. Definición del Análisis de Ciclo de Vida

Las definiciones más utilizadas para el LCA, son las siguientes:

- **Norma ISO 14040:** “el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”
- **Norma española UNE 150-040-96:** “El Análisis de Ciclo de Vida es una recopilación y evaluación de las entradas y salidas de materia y energía, y de los impactos ambientales potenciales directamente atribuibles a la función del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida”



- **Consejo Nórdico de Ministros:** “El Análisis de Ciclo de Vida es un proceso para evaluar las cargas ambientales asociadas a un sistema de producción o actividad, identificando y cuantificando las cantidades de materia y energía utilizados, y los residuos generados, y evaluando los impactos ambientales derivados de estos”.

El LCA permite obtener un modelo simplificado de un sistema de producción y de los impactos ambientales asociados; sin embargo, no pretende entregar una representación total y absoluta de cada interacción ambiental. A pesar de postular una cobertura sobre todo el ciclo de vida de un producto, en muchos casos resulta difícil abarcar todas las actividades desde la “cuna a la tumba”, por lo que se debe definir claramente el sistema requerido para que el producto cumpla con una determinada función.

1.3.2. Normalización y Metodología: Herramientas Ambientales ISO.

A finales del siglo XX, crece la necesidad de establecer indicadores universales que evalúen objetivamente los procesos industriales y los proyectos, para preservar de forma adecuada el medio ambiente.

Uno de los intentos por resguardar el medio ambiente ha sido El Protocolo de Kioto, sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir sus emisiones de los seis gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Las emisiones totales de los países desarrollados deben reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5 % respecto a los niveles de 1990. Sin embargo la economía es el eje principal que mueve más allá de conciencias. Sino que genera políticas gubernamentales esta es la razón por la que se debe hacer referencia al sistema capitalista, y luego al imperialismo mundial, que no repara en los daños que ocasiona, por el simple hecho de buscar ganancias gigantes. El sistema capitalista, necesita de acumulación de riqueza a cualquier costo. EEUU. Es el país que más contamina (Estados Unidos, con apenas el 4 % de la población mundial, consume alrededor del 25 % de la energía fósil y es el mayor emisor de gases contaminantes del mundo), pero no quiso firmar el protocolo de Kioto; el



expresidente de Estados Unidos Bill Clinton firmó el acuerdo pero el Congreso de su país no lo ratificó por lo que su adhesión sólo fue simbólica hasta 2001 en el cual el gobierno de Bush se retiró del protocolo. Pensando primero en cómo afectaría este tratado a su economía, sin ni siquiera considerar que las emisiones que ellos causan no afecta únicamente al resto de países, o solo a los denominado países de tercer mundo sino, que también afecta directamente a su propio País, es importante recordar que el tema de protección medioambiental tiene como principal eje la perpetuación de la raza humana.

Se han realizado muchos intentos por unir conciencias en el mundo, así también se han firmado varios acuerdos entre Países con principios ambientales para la preservación medioambiental con todo tipo de resultados, Uno de ellos nace en la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en junio de 1992 en Río de Janeiro (Brasil), La Organización Internacional para la Estandarización ISO por sus siglas en Ingles (International Standards Organization) se compromete a elaborar normas ambientales internacionales. Para tal fin, se crea el Comité Técnico 207 (1993), responsable del desarrollo de las normas sobre Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) denominados ISO 14000. Cuyo objetivo consiste en la estandarización de los modos de producción y prestación de servicios, con objeto de proteger al medio ambiente e incrementar su calidad y competitividad.

La finalidad de las normas ISO es impulsar y promover una gestión más eficaz del medio ambiente, proporcionando herramientas útiles para recopilar, interpretar y transmitir información contrastada y objetiva, con el fin de mejorar las intervenciones ambientales. Aportando tres grupos de herramientas medio ambientales; el Análisis del Ciclo de Vida (LCA), la Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA) y el Sistema de Etiquetado Ecológico.

Las normas ISO poseen varios estándares asociados a la conducción de ACV:

- **Norma ISO 14040:** presenta los principios generales y requerimientos metodológicos del LCA de productos y servicios.
- **Norma ISO 14041:** guía para determinar los objetivos y alcances de un estudio de LCA y para realizar el análisis de inventario.
- **Norma ISO 14042:** guía para llevar a cabo la fase de evaluación de impacto ambiental de un estudio de LCA.



- **Norma ISO 14043:** guía para la interpretación de los resultados de un estudio de LCA.
- **Norma ISO 14048:** entrega información acerca del formato de los datos que sirven de base para la evaluación del ciclo de vida.
- **Norma ISO 14049:** posee ejemplos que ilustran la aplicación de la guía ISO 14041.

Junto al LCA existe un conjunto de herramientas complementarias que permiten evaluar las cargas ambientales, con diferente resolución y con distintos límites del sistema estudiado. Algunas de éstas se describen a continuación:

- **Evaluación de impacto ambiental:** herramienta para la toma de decisiones que incluye la identificación, cuantificación y valoración de los impactos ambientales asociados a un proyecto
- **Evaluación de tecnologías:** herramienta de diseño de procesos menos contaminantes, cuyo objetivo es evaluar comparativamente diferentes opciones tecnológicas, sobre la base de sus atributos ambientales, técnicos, económicos, sociales, etc.
- **Análisis de riesgos:** evalúa posibles accidentes, considerando la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias sobre las personas, las instalaciones y el medio ambiente. Permite identificar y evaluar medidas de prevención y control. Gestión Ambiental
- **Análisis de intensidad de recursos:** evalúa la cantidad de materiales y energía que se utiliza en un sistema de producción asociado a un producto o servicio, a lo largo de su ciclo de vida. Trabaja sobre el total de materia y energía, sin especificar la naturaleza y composición específica.
- **Evaluación de desempeño ambiental:** es una herramienta interna que provee al sistema de gestión con información ambiental objetiva y verificable sobre el desempeño de una organización. Se debe seleccionar



indicadores ambientales adecuados para describir la interacción con el medio ambiente. Se aborda en las normas ISO 14031

1.3.3. Definición y Etapas Metodológicas del Análisis del Ciclo de Vida

La SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry) define el Análisis del Ciclo de Vida como: "Un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de la materia y de la energía, así como las emisiones o los vertidos al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones o vertidos, con el fin de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final."

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14040, el desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida, debe contemplar las siguientes etapas metodológicas:

- **Etapa 1:** Definición De Objetivos Y Alcance (Unidad Funcional)

Es el primer paso a abordar en el análisis del ciclo de vida; Se debe identificar los objetivos que motivan este estudio, así como los resultados que se pretenden obtener. Debido a la gran cantidad de procesos necesarios para la obtención de un producto, es necesario definir los límites del sistema a analizar e identificar los componentes del ciclo de vida (ej. extracción, transporte, almacenamiento, producción, consumo, reciclaje, disposición final de residuos, etc) de tal manera que no se vuelva interminable.

- **Etapa 2:** Análisis General De Inventario

Consiste básicamente en realizar un balance de materia y energía a partir de un análisis cuantitativo de las **ENTRADAS** (las materias primas, las fuentes de energía), y **SALIDAS** (son las emisiones liberadas ya sea en agua, aire, suelo y los productos), este balance se encuentra expresado de manera gráfica en la Figura 1.1



Parte de los flujos energéticos y de materia que se generan durante la producción parten de la naturaleza o se destinan a ella, mientras que otros se originan o tienen su fin en la tecnosfera.¹

²El análisis del inventario no se considera un proceso rígido con pasos estrictos a seguir y obteniendo un resultado único, por el contrario es un proceso iterativo al que se le va incrementando datos según se vayan adquiriendo mayores conocimientos del tema que nos permitan redefinir con mayor precisión las fases del ciclo o los flujos materiales o energéticos.

Se pueden considerar los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del inventario de un LCA

- Construcción del diagrama de flujo
- Establecer la calidad de los datos (niveles de precisión requeridos)
- Definir los límites del sistema
- Recolección de los datos y cálculos de balances (Ecobalances)
- Redefinición de los objetivos y alcances

Una vez que hemos construido el diagrama de flujo, el sistema se subdivide en subsistemas y estos a su vez en procesos unitarios, para facilitar los cálculos de balance. Los balances de materia y energía se deben ordenar en forma sistemática, especificando las entradas y salidas, y sus destinos/orígenes

A pesar de que ya en el paso anterior se han definido los límites es necesario precisar tal definición en el análisis de inventario basándonos principalmente en el ámbito geográfico, debido a que al ampliar estos límites disminuimos la precisión y se incrementa la incertidumbre en los cálculos a obtener. Es preferible que los límites se definan en áreas donde se conozca la naturaleza de las actividades incluidas en el estudio, por ejemplo una buena opción para establecer los límites en el estudio serían considerar solo aquellas actividades que se realizan en el País.

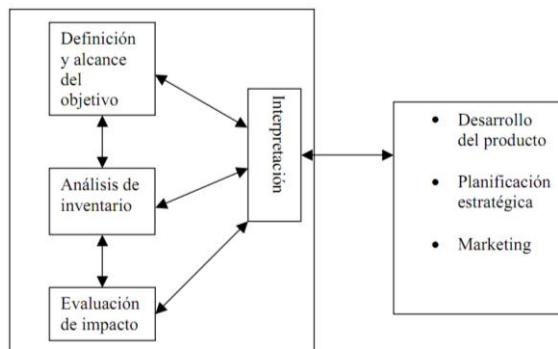
- **Etapa 3: Evaluación Del Impacto Ambiental Potencial**

¹ **Tecnosfera.** Es el conjunto de los medios artificiales que soportan el desarrollo de la sociedad humana y que evoluciona hacia una analogía de la biosfera con la que interactúa. Los seres humanos actúan sobre el ambiente para satisfacer distintos tipos de necesidades y crear o fabricar paisajes agrarios, industriales, viales, urbanos.

Es un proceso cualitativo / cuantitativo mediante el cual se consideran los efectos de las intervenciones medioambientales identificadas en el inventario. Es parte importante de esta etapa considerar tres elementos importantes para realizar el LCA **la salud y seguridad de las personas, así como las cargas ambientales**. Se debe identificar y caracterizar, previamente, los compartimentos ambientales a incluir en el análisis y su relación con las etapas del ciclo de vida del producto.

- **Etapa 4: Interpretación De Los Resultados**

Esta es la última etapa a realizarse en un LCA, radica en base al análisis anterior, identificar y evaluar medidas de mejoramiento que permitan reducir aquellos impactos de mayor relevancia del sistema en estudio.



Fuente: SFS-EN ISO 14040

Figura 1.2 Etapas para el desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida

1.4. Unidad de Medida de los Impactos Medioambientales.

La unidad utilizada para medir el impacto medioambiental de los dos sistemas de generación de electricidad analizados es el llamado **Eco punto De Impacto**. El estudio concluye otorgando a cada una de las tecnologías estudiadas un valor total de eco puntos de impacto medioambiental por Terajulio de electricidad producido.

Es importante remarcar que **los ecopuntos son unidades de penalización ambiental**, de forma que cuanto más ecopuntos obtenga un sistema de generación de electricidad mayor será su impacto medioambiental, y a la inversa,

los sistemas con menor puntuación de eco puntos resultarán ser los más *amigables* con el medio ambiente.

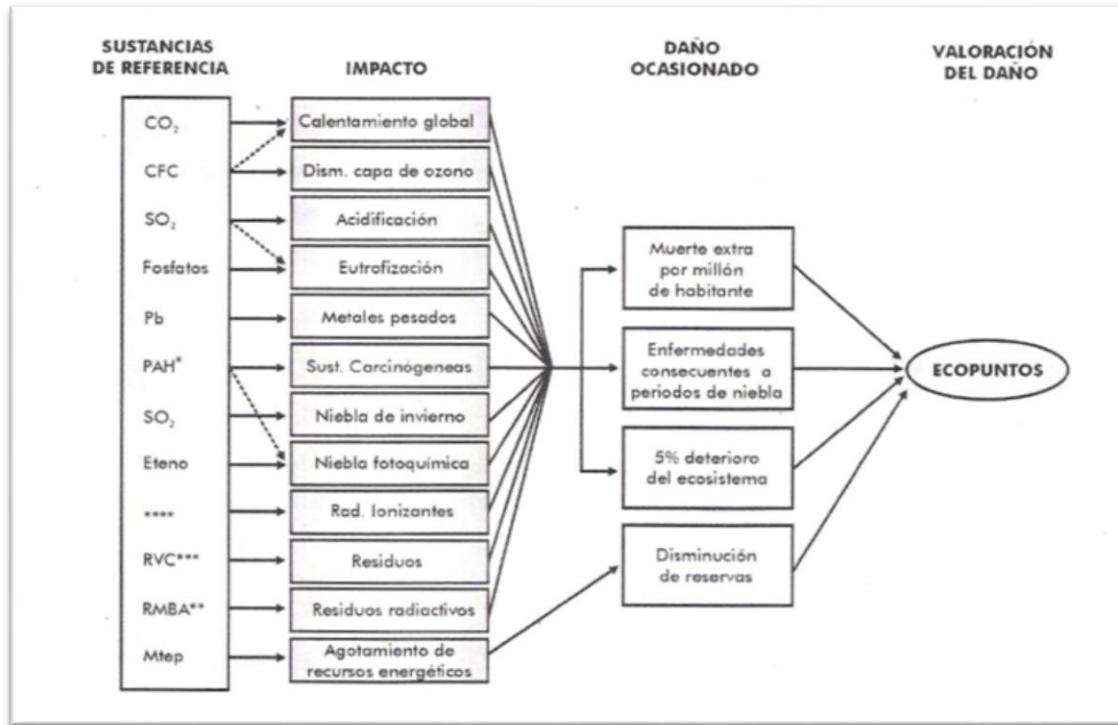


Figura 1.3 Cálculo de Ecopuntos³

³ Fuente: FUNIBER Capítulo Herramientas de Gestión Ambiental



Capítulo 2

Principios de Generación

1 Generación Eólica

“Cuando el viento sopla, algunos construyen refugios, otros, construyen molinos de viento”. (Proverbio chino)

1.1 Historia

Los primeros vestigios acerca del aprovechamiento del viento datan de las épocas más remotas de la humanidad, la primera y más sencilla aplicación de la energía del viento, se le atribuye al uso de las velas en la navegación que se encuentra en grabados egipcios que datan del V milenio A.C. En cuanto a los primeros mecanismos manejados por viento se tiene información de que fueron ruedas de oración manejadas en actos religiosos en el Tíbet y Mongolia.

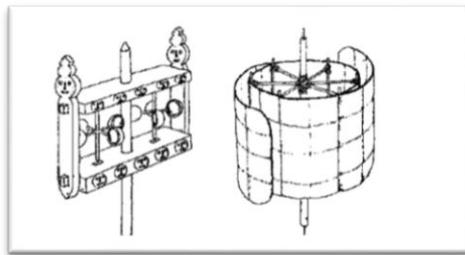


Figura 2.1 Máquinas Eólicas conocidas como ruedas de oración aparecidas varios siglos antes de nuestra era en zonas del Tíbet y Mongolia.⁴

⁴ (Endesa, 1987)

La extensión de estos ingenios hacia Europa y por ende a España desde Oriente Medio se llevó a cabo por medio de la difusión de la cultura islámica hacia los países Mediterráneos. Para los países europeos sin influencia del Islam, como Inglaterra y Holanda, la idea apareció de manera autóctona. En Holanda, desde 1430, se utilizaron masivamente para la desecación de los *polders*⁵ de eje vertical.



Figura 2.2. Primeros Molinos de Viento de Eje horizontal⁶

Fue entre las dos últimas guerras cuando aparecieron, como consecuencia de los progresos técnicos de las hélices de aviación, los grandes aerogeneradores de dos o tres palas. En ellos se transforma la energía cinética del viento en energía mecánica primero y en energía eléctrica posteriormente.

1.2 Origen de la Energía Eólica.

Eólico viene de EOLOS el Dios de los vientos aunque, la mayoría de los antiguos literatos griegos, lo describían como el señor de los vientos, su guardián y responsable de su control.

Alrededor de un 1 a un 2% de la energía proveniente del Sol es convertible en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la Tierra. El viento se produce por las diferencias de temperaturas que alcanzan diferentes partes de la Tierra. **El viento es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el**

⁵ Un **polder** es un término neerlandés que describe las superficies terrestres ganadas al mar. Esta técnica se utilizó por primera vez en el siglo XII, en la región de Flandes.

⁶ (WindEnergy, 2010)

movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos.».⁷

Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo

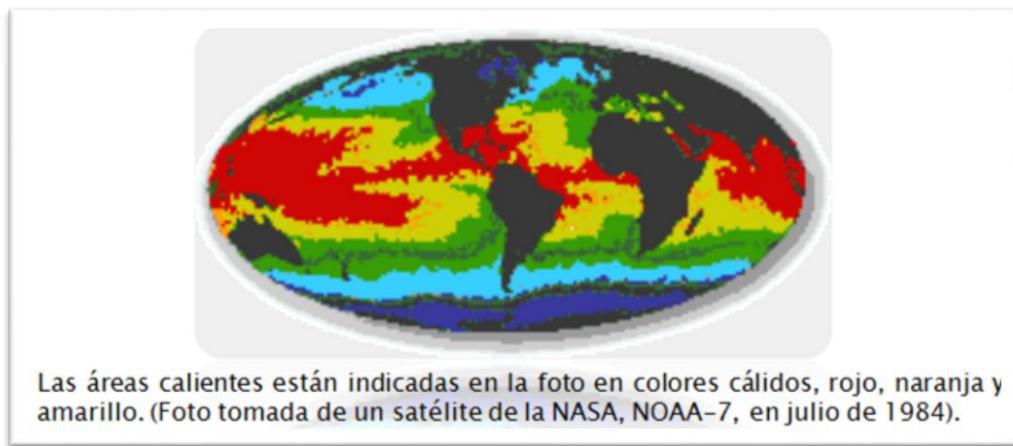


Figura 2.3 Mapa de radiación solar

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de vientos:

- **Vientos globales** (en la troposfera y la superficie): grandes corrientes de aire alrededor del planeta que obedecen a patrones establecidos por la rotación de la tierra y la irradiación solar global.

⁷ Günter D. Roth Meteorología. Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Situaciones meteorológicas generales. Pronósticos del tiempo. Barcelona: Ediciones Omega, 2003 (edición original alemana: Munich, 2002)

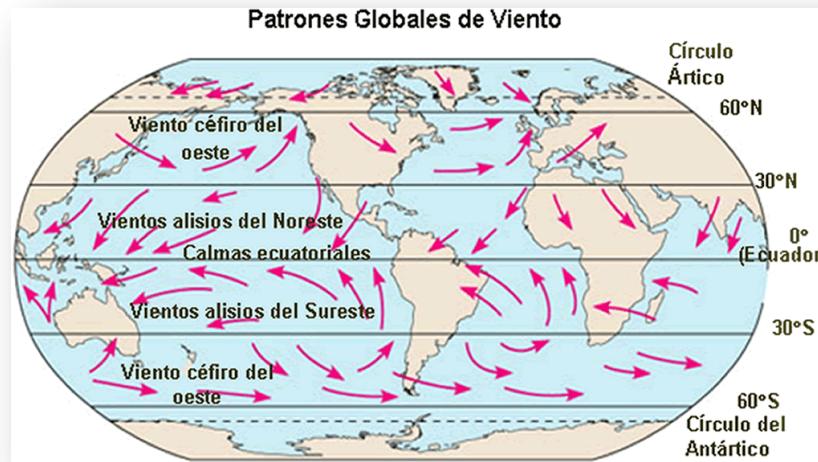


Figura 2.4 Patrones Globales de Viento⁸

El aire que asciende de la zona cálida del ecuador se dirige hacia el polo a 2m/s, desviándose hacia el ESTE a medida que avanza hacia el NORTE. Al alcanzar la zona subtropical desciende volviendo al ecuador por la superficie. Por encima de este ciclo subtropical se forma otro de característica semejante, alcanzando la zona subpolar en donde vuelve a ascender enlazando con el ciclo polar

- **Vientos Locales.-** Las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones de vientos más comunes. La misma que es influenciada por la suma de los efectos global y local. Cuando los vientos a más gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los regímenes de viento.

⁸ (ilustresmarinos.wordpress.com, 2003)

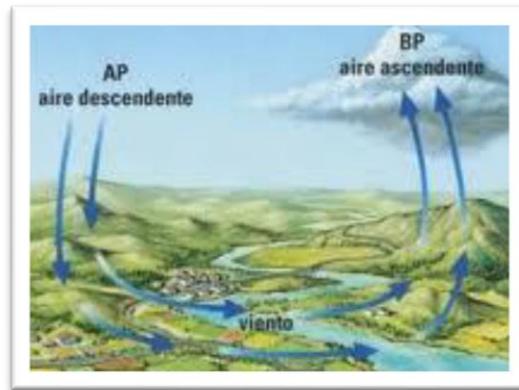


Figura 2.5 Patrones de Vientos Locales⁹

- **Brisas Marinas.**– Durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar por efecto del sol. El aire sube, circula hacia el mar, y crea una depresión a nivel del suelo que atrae al aire frío del mar. Esto es lo que se llama brisa marina. A menudo hay un periodo de calma al anochecer, cuando las temperaturas del suelo y del mar se igualan. Durante la noche los vientos soplan en sentido contrario. Normalmente durante la noche la **brisa terrestre** tiene velocidades inferiores, debido a que la diferencia de temperaturas entre la tierra y el mar es más pequeña.



Figura 2.6 Patrón de Vientos de Brisa Marina¹⁰

⁹ (ilustresmarinos.wordpress.com, 2003)

¹⁰ (Asosiation, 2003)

Buenos recursos eólicos se presentan en áreas geográficas como: Áreas costeras, Cumbres de largas pendientes, terreno abierto, valles que canalizan los vientos, en la tabla 2.1 se muestra la clasificación de acuerdo a las velocidades que alcanzan los vientos y a su promedio anual, estos datos de medida del viento se deben tener por lo menos de uno o dos años anterior a la fecha de diseño.

Criterio de Diseño	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
Velocidad Promedio Anual	Max. 10m/s	Max. 8.5m/s	Max 7.5 m/s	Max. 6m/s
Ráfaga (50 años de retorno)	65 m/s	53 m/s	49 m/s	39 m/s

Tabla 2.1 Clases de Viento

1.3 Los aerogeneradores

Un aerogenerador desviará el viento antes incluso de que el viento llegue al plano del rotor.

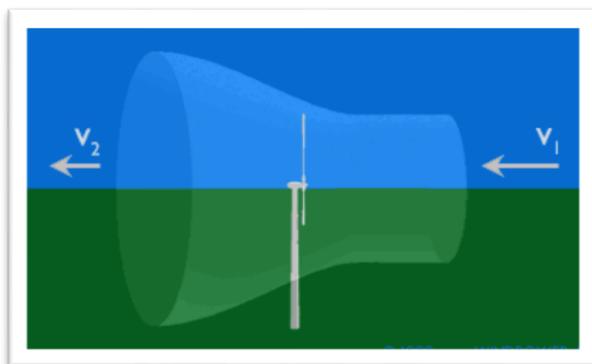


Figura 2.7 Patrón de viento de un Aerogenerador¹¹

Esto implica que el viento se moverá más lentamente en la parte izquierda del rotor que en la parte derecha. El viento que pasa desde la derecha debe ser igual al que abandona el rotor por la izquierda. El aire ocupará una mayor sección

¹¹ (Winpower,2010)



transversal (diámetro) detrás del plano rotor este efecto se conoce como “tubo corriente”

El viento llega por la derecha, estando situado el rotor en el centro del gráfico. La presión del aire aumenta gradualmente a medida que el viento se acerca al rotor desde la derecha, ya que el rotor actúa de barrera del viento, la presión del aire caerá inmediatamente detrás del plano del rotor



Figura 2.8 Curva de Variación de Presión de un aerogenerador¹²

1.3.1 Energía eólica

Depende de: densidad y temperatura d (aire)= 1.225 Kg/m³ (condiciones normales); Recurso muy variable: velocidad, ubicación (altura), dirección y magnitud (duración)

- Velocidad del viento y Clase de viento
- Perfil del viento: depende de altura y topografía

El viento se puede medir mediante artefactos como: anemómetro y veleta

1.3.2 Potencia desarrollada por un aerogenerador

Formulación Matemática

La **cantidad de energía** transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, "d", del área de barido del rotor, "A", y de la velocidad del viento, "v".

¹² (Winpower,2010)

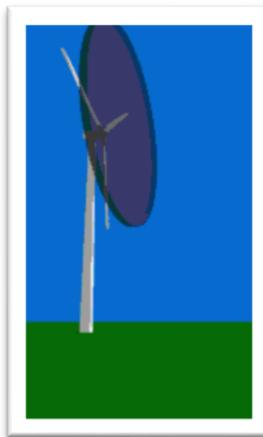


Figura 2.9 Área de impacto del viento en un aerogenerador¹³

La energía cinética de una masa de aire, "m", moviéndose a una velocidad, "v", responde a la expresión:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Si el volumen de aire que se mueve es "V" y tiene una densidad "d" su masa será;

$m = V \times d$, con lo que su energía cinética será:

$$Ec = \frac{1}{2} dVv^2$$

La **cantidad de aire** que llegará al rotor de un aerogenerador en un tiempo "t" dependerá de: el área de barrido del rotor "A" y de la velocidad del viento

El volumen del aire que llega al rotor será:

$$V = A \times v \times t$$

¹³ (Asosiation, 2003)

La energía cinética que aporta el aire al rotor en un tiempo "t" será:

$$Ec = \frac{1}{2} d \times A \times v \times t \times v^2$$

$$Ec = \frac{1}{2} d \times A \times t \times v^3$$

Y la potencia aportada al rotor será:

$$Ec = \frac{1}{2} d \times A \times v^3$$

Como se observa en esta demostración matemática, **La potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento**

Por ejemplo: Con una velocidad del viento de 8 m/s obtenemos una potencia de 314 W/m² por cada metro cuadrado, expuesto al viento A 16 m/s obtendremos una potencia ocho veces mayor 2.509 W/m², en la figura 2.10 encontramos la curva resultante de la potencia de un aerogenerador.

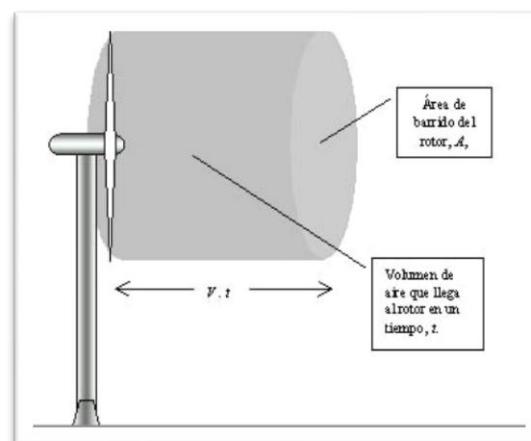


Figura 2.10 Elementos de la Potencia de un aerogenerador¹⁴

Por lo tanto; la producción de energía de un aerogenerador depende de la velocidad de rotación que el viento transmite al generador. A partir de un valor mínimo de velocidad del viento para el cual se inicia el movimiento, la potencia generada se irá incrementando a medida que aumenta la velocidad del viento, hasta llegar a un valor máximo, correspondiente a la potencia nominal de la turbina. Una vez alcanzada la potencia nominal, es necesario mantenerla constante para velocidades de viento superiores, mediante un sistema de “control de potencia” con diferentes alternativas tecnológicas

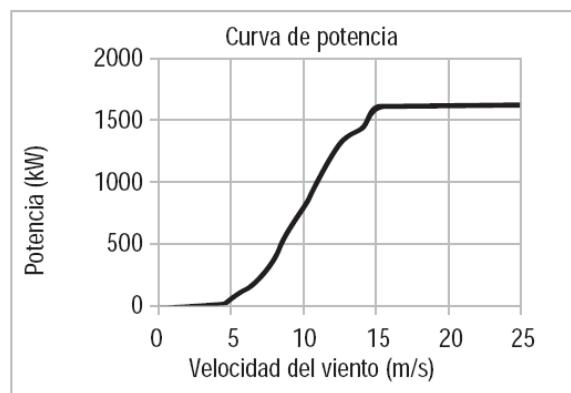


Figura 2.11 Potencia de un aerogenerador¹⁵

Como también hemos visto anteriormente el aerogenerador ralentiza el viento al pasar por el rotor, hasta un 2/3 de su velocidad inicial. Lo que significa que no se aprovecha toda la energía cinética que el viento aporta al rotor, existiendo una ley, llamada **Ley de Betz** que nos dice: **"Sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador"**. La ley de Betz fue formulada por primera vez por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro "Wind-Energie", publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores.

¹⁴ (Winpower,2010)

¹⁵ Empresas Públicas de Medellín • Vol. 15 • No. 1 • Enero -Junio 2004

1.3.3 Influencia de la altitud en la densidad del aire (temperatura y presión est谩ndar)

Los vientos locales est谩n influenciados b谩sicamente por las caracter韘ticas de la superficie: rugosidad del terreno y presencia de obst醕ulos.

Altitud (m)	Temperatura Promedio (C)	Presi髇 Promedio (mbar)	Densidad (kg/m3)	Contenido de Energ韘a (%)
0	15	1013	1.225	100
1000	8.5	899	1.112	91
2000	2	795	1.006	82
3000	-4.5	701	0.909	74
4000	-11	616	0.819	67

Tabla 2. 2 Influencia de la altitud en la densidad del aire (temperatura y presi髇 est谩ndar)¹⁶

La velocidad del viento en la superficie es cero, y va creciendo con la altura, hasta una altitud en la cual la superficie no influye en la misma. Existen diferentes aproximaciones te髍icas para describir el perfil de velocidades del viento. Una de las m醩 usadas est醤 en funci髇 de la altura para un determinado lugar:

$$V(z) = V_o \left(\frac{Z}{Z_o} \right)^\alpha$$

- V_o = velocidad conocida para una elevaci髇 Z_o .
- El coeficiente α es un exponente que depende principalmente de la rugosidad de la superficie

¹⁶ (Asosiation, 2003), (Espinosa, 2013)

1.4 Medida de la velocidad del viento

La velocidad del viento es un dato muy importante para el diseño de un aerogenerador, ésta velocidad no es constante y varía a lo largo del tiempo, La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada "Distribución de Weibull". En el eje de las X se han puesto las velocidades del viento en m/s y en el eje de las Y el tiempo que esas velocidades se han conseguido a lo largo del año, frecuencia expresada en tanto por uno.

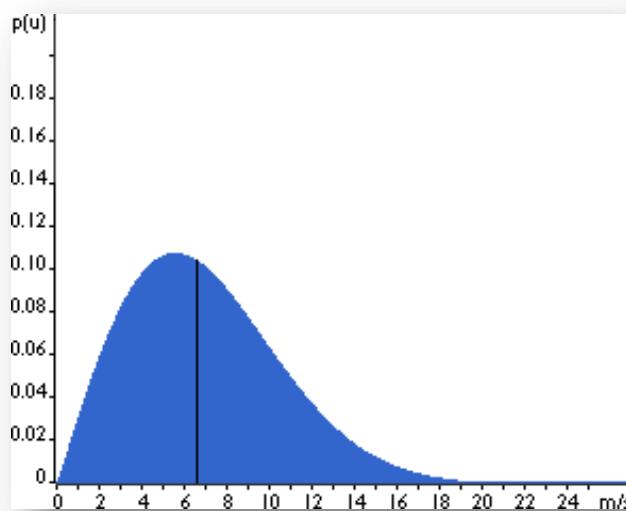


Figura 2.12 Distribución de Weibull

En base a la figura 2.12 podemos observar que los fuertes vendavales son raros ($v>14$ m/s) y que los vientos frescos y moderados son bastante comunes. En este emplazamiento la velocidad media a lo largo del año ha sido de 7 m/s. Por lo tanto la Distribución de Weibull puede variar tanto en la forma como en el valor medio dependiendo de los datos del lugar en el que sea medido el comportamiento del viento.



2 Sistema Solar Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos, basándose en las propiedades de los materiales semiconductores, transforman energía que irradia el Sol en energía eléctrica, sin mediación de reacciones químicas, ciclos termodinámicos, o procesos mecánicos que requieran partes móviles.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de la región a estudiar (los institutos de energía elaboran anualmente un atlas de radiación¹⁷) que el mismo que se ha realizado en el País por el CONELEC en el año 2010 en el que podemos obtener el valor de la radiación por regiones en el País.

La cantidad de energía solar recibida por el sol se denomina radiación solar y la demanda de energía diaria de energía serán los factores en base a los que se diseñará el sistema fotovoltaico necesario para satisfacer la necesidad de energía. Por norma general las unidades que se usarán $\frac{kJ}{m^2}$. La selección del valor de radiación solar será en base a los datos del ATLAS SOLAR ECUATORIANO, así, como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada región

El proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica se produce en un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica que es un semiconductor (unión P-N), similar al diodo rectificador fabricado de Si (Silicio). Su funcionamiento consiste principalmente en que la luz del Sol incide sobre una célula fotovoltaica, cuando esto sucede los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.

¹⁷ (CONELEC, 2010)

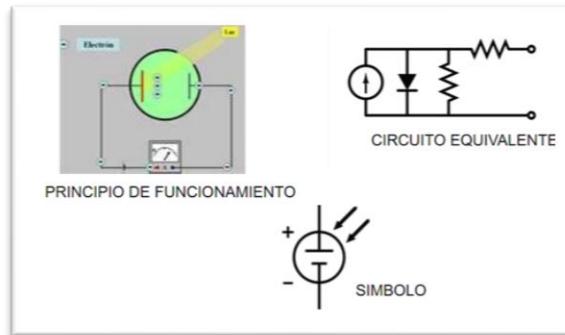


Figura 2.13 Principio de funcionamiento de la Célula Solar Fotovoltaica¹⁸

- **Célula Solar Fotovoltaica.**- Una de las regiones, la denominada n ha sido dopada, impurificada con fósforo. El fósforo tiene 5 electrones de valencia, de modo que esta región muestra una afinidad por los electrones menor que el silicio. La otra región, denominada p, ha sido dopada con boro. El boro tiene sólo tres electrones de valencia, por lo que su afinidad para captar electrones es mayor que la del silicio puro. Si unimos estas dos regiones por medio de materiales conductores, la unión p-n así formada presenta una diferencia de potencial que hace que los electrones liberados vayan hacia la zona n y los huecos hacia la zona p, produciéndose una corriente eléctrica

Los fotones (rad. solar) INDUCEN una corriente en sentido n-p
 La corriente externa es en sentido p-n (directo)

$$I_F = I - I_L < 0$$

I_L = foto-corriente

I = corriente de difusión (diodo)

¹⁸ (Eléctrica, 2012)

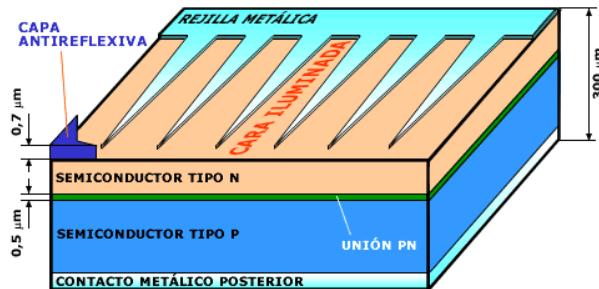


Figura 2.14 Célula solar fotovoltaica¹⁹

Ecuación de Shockley:

Intensidad de difusión (de la unión PN)

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV_D}{nKT}} - 1 \right)$$

$$VD = \frac{kT}{q}$$

I es la intensidad de la corriente que atraviesa el diodo y VD la diferencia de tensión entre sus extremos.

I_s es la corriente de saturación (aproximadamente 10 -12A)

q es la carga del electrón ($1,602 \times 10^{-19}$ coulombios)

T es la temperatura absoluta de la unión

K es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/ °K)

n es el coeficiente de emisión, dependiente del proceso de fabricación del diodo y que suele adoptar valores entre 1 (para Ge) y 2 (para el Si).

$VD = T/11600$ es la tensión debida a la temperatura (26 mV a 27 °C).

¹⁹ (Solar, 2012)



2.1 Tipos de célula solar

Materiales para células solares:

- Si (Silicio) monocristalino, tipo disco, más del 50% del mercado, costos. $\eta=15-25\%$
- Si (Silicio) monocristalino concentrado: lentes, reflectores. $\eta=24-28\%$
- Si(Silicio) semi-policristalino, rodaja cuadrada, menos costoso, $\eta=15-20\%$
- Si (Silicio) amorfo: sencillo de construir, barato. $\eta=8-10\%$
- Película delgada (sin Si.):
 - Combinación 3/5: Ga-As, $\eta=24-29\%$
 - Combinación 2/6: Cd-S; Cd-Te, $\eta=15-20\%$

2.2 Panel Solar.

Parámetros básicos o característicos (suministrados por fabricantes):

- **Corriente de corto-circuito (Isc)**, es la corriente máxima que entrega el panel al cortocircuitar sus terminales ($V=0$).
- **Tensión de circuito abierto (Voc)**, es la tensión máxima que se puede medir sobre el panel y se da cuando el circuito está sin carga y no hay circulación de corriente ($I=0$).
- **Potencia Pico (Pmax)**, es la potencia que cederá el panel solar para las condiciones nominales de 1000 W/m² de radiación y 25 °C de temperatura del panel.
- **Curva I-V (intensidad-tensión)**, está definida para condiciones estándar de medida, con un nivel de irradiación de 1 kW/m², temperatura 25°C y una distribución espectral de radiación incidente de (A.M. 1,5).

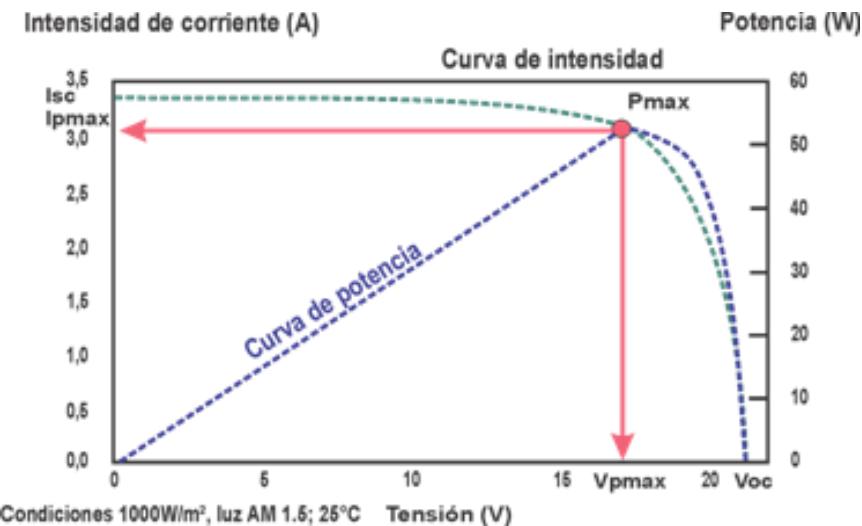


Figura 2.15 Curva de Intensidad de Corriente de un panel solar²⁰

2.2.1 Energía en un panel solar

La energía en un panel solar depende de dos factores principales la energía solar que es característico del lugar de emplazamiento del panel en nuestro país estos datos se encuentran almacenados en el Atlas solar adjunto en el Anexo II y de la eficiencia del mismo

$$\text{Energía salida (celda o panel)} = \text{energía solar} \times \eta\%$$

$$\text{Demanda Energía} = \text{energía salida} \times \text{área}$$

2.3 Sistemas Fotovoltaicos

TIPOS:

- Independientes (stand-alone)
- Conectados a la red

²⁰ (Espinosa, 2013)

ESTRUCTURA:

- Generador Fotovoltaico (y sus accesorios)
- Sistema de almacenamiento/acumulación de energía (baterías)
- Equipo de control/regulación y acondicionamiento de potencia (inversores)
- Accesorios: medida, interruptores, iluminación, cables, etc.

Un panel (generador) fotovoltaico está formado por numerosas celdas (células fotovoltaicas) que convierten la luz en electricidad.

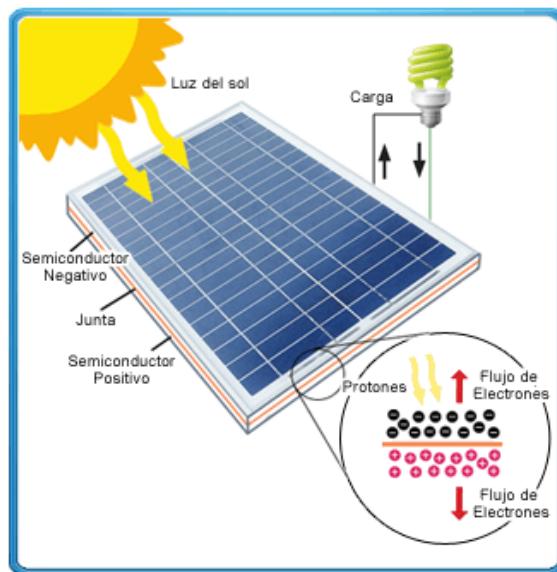


Figura 2.16 Panel Solar Fotovoltaico²¹

2.3.1 Componentes

2.3.1.1 Sistemas de Acumulación

El **almacenamiento de energía** comprende los métodos que tiene la humanidad para conservar en la medida de lo posible una cierta cantidad en cualquier forma,

²¹ (Solar, 2012)



para liberarla cuando se requiera en la misma forma en que se recolectó o en otra diferente. La electricidad es una energía secundaria, es decir, que es resultado de la transformación de energía primaria en este caso en especial la energía. Una característica fundamental es que esta energía no se puede almacenar: la electricidad producida es instantáneamente consumida o perdida. El problema de almacenar este tipo de energía se soluciona, de hecho, produciéndola rápidamente en sistemas autónomos (no conectados a la red). para almacenar la energía producida por un sistema solar fotovoltaico se usan baterías electroquímicas

Se denomina batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo y un electrodo negativo, o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función.

Parámetros eléctricos:

- **Capacidad de almacenamiento de energía.**- Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado. Se mide en Ah para un determinado tiempo de descarga, por Ejemplo: Capacidad a 100horas = 200Ah
- **Régimen de carga/descarga.**- Es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Normalizado respecto a la capacidad .por ejemplo: régimen de descarga de 10 h. en una batería de:

$$\frac{200Ah}{10h} = 20A \text{ (Régimen } C_{10})$$

- **Profundidad de descarga (PdD).**-Representa los Amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada. Se mide en tanto por ciento.
•Ej.: en una batería de 200Ah, extraemos 120Ah, la PdD es:



$$\frac{120Ah}{200Ah} \times 100 = 60\%$$

Cuando se efectúa la prueba para determinar el valor en Ah de una batería solar la PdD debe alcanzar un mínimo de 80%.

- **Capacidad de Acumulación (energía).**- Está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Ah, este producto se mide en Wh o KWh, dependiendo de su valor. En nuestro ejemplo, para un voltaje de 12 Vcc, sería:

$$Wh = 12 \times 200 = 2400 \text{ Wh}$$

- **Voltaje de Corte.**- Es el voltaje para el que se finaliza la descarga de la batería. Es función del régimen de descarga y del tipo y modelo de batería.

2.3.1.2 *Regulador*

Evita la sobrecarga de la batería a la vez que limita la tensión a unos valores adecuados para el mantenimiento (vida útil). En el caso de no existir un sistema regulador, puede producirse un exceso de corriente que sería capaz de hacer hervir el electrolito con la consiguiente pérdida de agua y deterioro del grupo acumulador, al no poderse limitar la tensión. Tipos: Shunt, serie y módulos autoregulados.

2.3.1.3 *Inversor*

Este dispositivo que transforma la CC, generada en los paneles y almacenada en la batería, en CA necesaria para diferentes dispositivos. Consta de un circuito electrónico (transistores y tiristores), que trocea la CC alternándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser ya utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que eleva la tensión (convertidores de onda cuadrada), o bien si se filtra, para obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica.



2.3.1.4 Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico

Parámetros

- Recurso: radiación solar (kWh/m²-día)
- Voltaje del sistema (12, 24, 48 V DC)
- Demanda (P y E)

Análisis de la demanda: racionalidad y eficiencia

- Uso actual de la energía: leña, pilas, velas, GLP, etc.
- Necesidades (eléctricas) actuales: iluminación, comunicaciones, etc.
- Cuadro (gráfico) de abonado tipo

Para cálculos:

- Mes menos favorable
- Días de autonomía (batería)

2.4 Parque Solar Fotovoltaico

Utilizan una tecnología de concentración llamada CPV por sus siglas en inglés (*Concentrated Photovoltaics*) para maximizar la energía solar recibida por la instalación, al igual que en una central térmica solar. Las instalaciones de concentración fotovoltaica se sitúan en emplazamientos de alta radiación solar directa, como son los países a ambas riberas del Mediterráneo, Australia, Estados Unidos, China, Sudáfrica, México, etc. Hasta el año 2006 estas tecnologías formaban parte del ámbito de investigación, pero en los últimos años se han puesto en marcha instalaciones de mayor tamaño como la de ISFOC (Instituto de Sistemas Solares Fotovoltaicos de Concentración) en Puerto Llano (Castilla La Mancha) con 3 MW suministrando electricidad a la red eléctrica.

La idea básica de la concentración fotovoltaica es la sustitución de material semiconductor por material reflectante o refractante (más barato). El grado de concentración puede alcanzar un factor de 1000, de tal modo que, dada la pequeña superficie de célula solar empleada, se puede utilizar la tecnología más eficiente (triple unión, por ejemplo). Por otro lado, el sistema óptico introduce un factor de pérdidas que hace recuperar menos radiación que la fotovoltaica plana.



Esto, unido a la elevada precisión de los sistemas de seguimiento, constituye la principal barrera a resolver por la tecnología de concentración. Las plantas de concentración fotovoltaica utilizan un seguidor de doble eje para posibilitar un máximo aprovechamiento del recurso solar durante todo el día.



Capítulo 3

Aplicación de la técnica del análisis del ciclo de vida

1 Definición de Objetivos y Campo de Estudio

El objetivo de realizar el Análisis del Ciclo de Vida sobre Generación Eólica y la Generación Solar Fotovoltaica es definir para estos productos por separado la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se producen, a partir de estos datos realizar un análisis comparativo entre los dos tipos de generación a base de energías renovables, y como resultados obtener qué tipo de generación más amigable con el ambiente.

Los productos que se desean estudiar

- **El Generador Eólico o Aerogenerador**, es básicamente un gigantesco molino de viento conectado a un generador eléctrico que aprovecha la fuerza del viento para mover las aspas del molino y producir energía, generalmente van conectados al sistema de interconexión eléctrica, de tal manera que se disponga de la energía generada, pueden trabajar de manera aislada o conectados entre sí formando un parque eólico²².
- **Planta Fotovoltaica Sobre El Suelo**, El elemento básico de una central fotovoltaica es el conjunto de células fotovoltaicas, que captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico. Están integradas, primero, en módulos y luego se forman con ellos los paneles fotovoltaicos. Lógicamente, la producción de electricidad

²² (Mauricio, 2012) <http://www.ecolife.co/index.php/ecotecno/114-como-funciona-un-generador-eolico#sthash.w1JXwjaV.dpuf>

de dichas células depende de las condiciones meteorológicas existentes en cada momento, -fundamentalmente de la insolación²³.

En este estudio se evaluarán los productos descritos desde la extracción de las materias primas hasta su procesamiento. Luego, se hará el análisis dentro de la fábrica para determinar el impacto relacionado con la manufactura propia de cada elemento generador y hasta la entrega al distribuidor. Posteriormente se hará un análisis durante su vida útil.

2.5 Diagrama de Flujo de las fases a ser analizadas en el LCA

En este análisis del ciclo de vida es considerado desde el proceso de manufactura de cada uno de los componentes que conforman la turbina y la planta solar fotovoltaica, hasta que estos se transforman en desechos, también están incluidos el transporte y la instalación de los equipos que conforman las plantas de generación debido a que también son parte del proceso del análisis del ciclo de vida. En la figura 2.1 se encuentra expresado el cuadro de flujo en donde se distingue con la flecha roja las emisiones generadas y con la flecha azul las fases en las que se genera energía eléctrica.

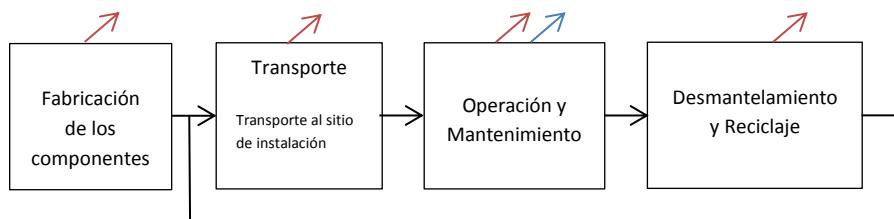


Figura 3.1 Diagrama de Flujo de las fases del Ciclo de Vida

1.2. Supuestos y limitaciones

La vida útil de una turbina de viento se fija para 20 años, la misma que define el límite del tiempo de vida del sistema, mientras que los transformadores y subestaciones no están incluidos en el presente estudio, mientras que para una planta solar fotovoltaica la vida útil es la de sus componentes. Si la planta

²³ (Eléctrica, 2012)<http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1345-central-fotovoltaica>



está diseñada correctamente y se realiza el mantenimiento recomendado, se pueden estimar los siguientes valores: Los módulos tienen una vida de más de 40 años, La electrónica tiene una vida útil de más de 30 años. Obteniendo un promedio de vida útil de una planta solar fotovoltaica de 30 años. Por lo que podemos manifestar que la vida útil de una planta solar fotovoltaica es mayor a la vida útil de un aerogenerador de la misma capacidad de generación.

También se debe especificar que se hará caso omiso a las perdidas en la red de distribución y en los transformadores. La pintura utilizada en el rotor, góndola y la torre también se excluye del ámbito de aplicación de este análisis, ya que fue imposible obtener los datos de los fabricantes y es de poca relevancia en el resultado final.

2. Aplicaciones de la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida.

Como se planteó en los antecedentes el primer paso a seguir para la aplicación de un LCA es plantearse los objetivos y establecer los límites de la investigación, este paso ya lo realizamos en el subtema anterior.

En segundo lugar se hará un inventario, seguido de la evaluación del impacto y finalmente la interpretación de los resultados obtenidos.

El inventario consiste en enlistar todos las partes que conforman tanto el Aerogenerador como la Planta Solar Fotovoltaica. Para realizar el inventario de las materias primas se han cotejado los datos brindados por el fabricante con los datos históricos

2.1. Análisis de las categorías de impacto

2.1.1. Potencial de calentamiento global.

Este indicador muestra el nivel de contaminación causado por las actividades que contribuyen al proceso de cambio climático al que en la actualidad nos encontramos expuestos. Es decir, es la cuantificación estimada de masa de gases de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y una relativa



comparación del gas en cuestión con una similar masa del Dióxido de Carbono (CO_2) que es otro gas de efecto invernadero. Los principales GEI (gases de efecto invernadero) son el Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso. La unidad a ser utilizada para medir estos gases es $\frac{kg \times CO_2}{kWh}$, CO_2 equivalente CO_2e son los resultados a ser utilizados para el respectivo análisis.

2.2.2. Requerimientos de energía

Este término es importante para la realización del análisis del ciclo de vida de los sistemas de energía. Consiste en el total de energía primaria requerida para la producción de la energía necesaria para la elaboración de un producto o un servicio- energía primaria es medida en kWh.

3 Análisis del inventario del ciclo de vida

El inventario consiste en el análisis de los diferentes elementos usados para la fabricación de los elementos que componen tanto la turbina como la planta solar fotovoltaica objeto de este estudio.

2.6 Turbinas de Viento

2.6.1 Características Principales

Como principales características de las turbinas de viento de 2MW podemos mencionar que: para la realización de este estudio se usarán turbinas de eje horizontal, sistema direct drive, la distancia del diámetro de las hélices es de 66m con un área de cobertura de 105m, la velocidad promedio a considerar se extraerá del mapa Eólico²⁴ del ecuador realizado por el Ministerio de Energías Renovables en el año 2013 en el cual podemos obtener la velocidad promedio de la región en estudio, y el valor de velocidad obtenido deberá ser corregido de acuerdo a la

²⁴ (MEER, 2013)



altura que se encuentre por la variación de la densidad del aire mediante la relación de BETZ.

2.6.2 Fabricación e instalación

En la figura 2.2 se muestran las partes que componen una turbina eólica.

- **Rotor.** Está compuesto por las aspas y el eje al que están unidas.
- **Aspas.**- Son la parte de la turbina que recibe directamente la energía del viento. Un rotor está compuesto, generalmente, por dos o tres aspas cuyo tamaño comercial oscila entre los 25 y 50 metros y pueden pesar más de 900 Kg cada una. La fabricación de las aspas consiste en un 60% de material de fibra de vidrio y un 40% de materiales epóxicos. El material es suministrado en rollos a la planta de fabricación para la fabricación de la torre y de las aspas, en el que se moldea y corta para formar las partes y es unido con pegamento.
- **Torre.** Existen dos tipos de torres: de monotubo o tubo sólido de acero y de armadura. Las alturas varían con el tamaño del rotor entre los 25 y 50 m.
- **Buje.**- Es el elemento de la máquina donde se apoya y gira el eje. Se hacen generalmente de hierro fundido y fibra de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

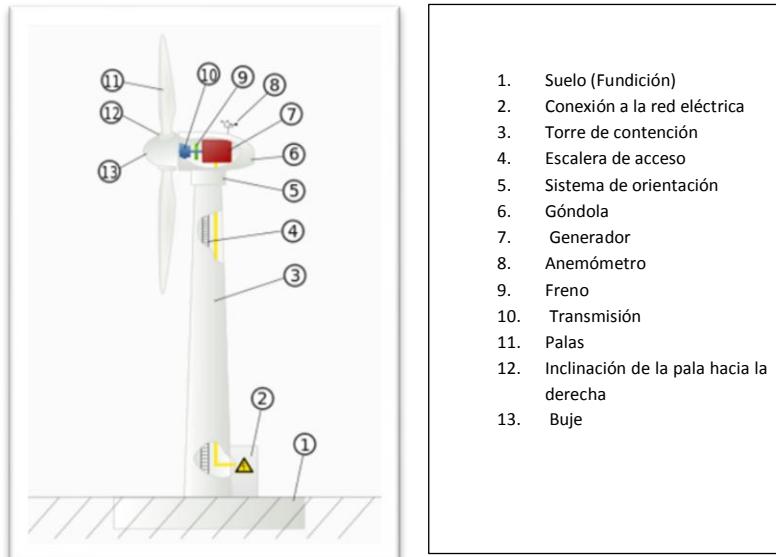


Figura 3.2. Esquema de una turbina eólica:
Fuente. Energía Eólica ATOM.

- **Gondola**

- **Generador.** La alta velocidad de rotación que se obtiene del sistema de transmisión se conecta al generador que produce electricidad a partir del movimiento. Esta construido principalmente de acero y de cobre
- **Caja de engranes:** Los engranajes se utilizan para aumentar la frecuencia para la producción eléctrica. Está fabricada de hierro fundido y acero inoxidable
- **Transmisión.** La potencia se transfiere mediante el eje de rotación a una serie de engranajes, o transmisión, que aumentan la baja velocidad de rotación de las aspas, del orden de las 60 revoluciones por minuto (rpm), a una velocidad de entre 1,500 y 2,000 rpm.

- **Fundición.-** La base se compone básicamente de hormigón armado y acero reforzado. La fundación es generalmente hormigonado, después de la excavación, el agujero se llenó con hormigón y acero reforzado



2.6.3 Transporte

Con el fin de no alterar los resultados obtenidos se tomará en cuenta el transporte desde las instalaciones de la fábrica hasta el sitio en donde van a ser instalados (País fabricante- País a ser instalado), siendo igual para los dos sistemas analizados

2.6.4 Operación y mantenimiento

Se requiere de entrada de energía para el funcionamiento de la turbina, como comenzar el control de la máquina, el funcionamiento del sistema ruptura, guiñada y cabeceo del rotor.

Consumo de funcionamiento de la turbina se estima normalmente como el 1% de la electricidad total generada por la turbina. Se asume el servicio de mantenimiento se lleva a cabo tres veces al año con el control de la consistencia del aceite y lubricante.

Se supone una estimación conservadora de mantenimiento de las turbinas. Se espera que más de 20 años de vida útil, la turbina orientada MW 2.0 requerirá un reemplazo de la caja de cambios cada 7 años, se pueden reemplazar sólo ciertas piezas secundarias del generador, por el contrario deberá ser reemplazado el componente por completo

2.6.5 Desmantelamiento y reciclaje

Se considera una entrada de energía durante la fase de desmantelamiento, que normalmente representan del 2% de la electricidad total generada. La Tabla 2.1 muestra los posibles escenarios de reciclaje para los principales materiales implicados en la producción de la turbina otorgados por el fabricante.

Tabla 2.1 Posibles Escenarios de Reciclaje

Acero Inoxidable	90% Reciclaje	10% Vertedero
Hierro Fundido	90% Reciclaje	10% Vertedero
Cobre	90% Reciclaje	10% Vertedero

Epóxicos	100%	Se Incineró
Plásticos	100%	Incinerados
Fibra de Vidrio	100%	Incinerados
Concreto Reforzado	100%	Vertedero

2.6.6 Materiales Requeridos

Materiales requeridos en toneladas y porcentaje para el aerogenerador se muestran en la Tabla 2.2. La Tabla 2.3 muestra los materiales requeridos por componente principal de la turbina. Tanto contribución principal componente turbinas proviene de la base, seguido por la torre y la góndola.

Tabla 2.2 Materiales Requeridos	Aerogenerador	
Material	Masa (T)	Peso(%)
Acero Inoxidable	296.4	19.3
Hierro Fundido	39.35	2.6
Cobre	2.40	0.2
Epóxicos	10.00	0.6
Plásticos	2.40	0.6
Fibra de Vidrio	24.30	1.6
Concreto Reforzado	11.64	75.6

Tabla 2.3 Materiales requeridos para los principales componentes de la turbina

Material	Masa (T)	Peso (%)
Rotor	37.85	2.5
Góndola	61.00	4.0
Torre	224.0	14.6
Fundición	1216	79.0
Total	1538	100.1

2.7 Planta Solar Fotovoltaica

2.7.1 Características

Antes de proceder a recopilar datos para la realización del análisis de inventario del presente trabajo realizaremos una breve descripción acerca de la planta solar fotovoltaica de 2MW que se pretende analizar. La planta estará ubicada en Ecuador por lo tanto se usarán los datos de esta región para la realización de los cálculos de este trabajo investigativo. La superficie efectivamente ocupada es igual a la de los paneles, lo que corresponde a 30.800m². El área donde La planta está situada no se somete a aspectos ambientales, geológicos o limitaciones paisaje. La planta fotovoltaica en estudio utiliza la estructura de multi-inversor de cadena múltiple.

2.7.2 Fabricación e instalación

Los elementos que componen una planta solar fotovoltaica son

- **Generador Fotovoltaico:** Transforma la energía del Sol en energía eléctrica, que se envía a la red.
- **Cuadro de protecciones:** Contiene alarmas, desconectadores, protecciones, etc.



2.7.3 Fases para implementar una planta solar fotovoltaica son:

3.1.1.1 Preparación de la tierra.- Consiste en una limpieza general, así como, la excavación para la construcción de carreteras para medios mecánicos y el acceso a la obra de construcción, se debe crear una plataforma de apoyo para la subestaciones eléctricas, compactación de carreteras de la superficie y del esparcimiento de lastres; cavar zanjas para el paso del agua y cruzándolos con los tubos; construcción de una losa de concreto reforzado con rejilla para el agua de lluvia. **Instalación de la estación de baja tensión.**- en orden cronológico de desarrollo de la instalación la segunda fase donde se encuentran los inversores, transformadores y distribuidores de baja tensión

2.7.3.2 Instalación de malla de seguridad.- La instalación de la malla se realiza usando malla de alambre galvanizado con malla diamante suelto; postes de metal con "T" sección, se los puede separar por una distancia de 2,50 m entre sí y adecuadamente asegurada con hormigón; se usa también una puerta de acceso realizada con acero galvanizado. El trabajo se lo puede realizar casi completamente de forma manual, a excepción de los agujeros que se puede hacer uso de maquinaria .Utilizando la información proporcionada directamente por las empresas con experiencia y de los fabricantes.

2.7.3.3 Instalación de las estructuras de apoyo.- Las estructuras de apoyo tienen forma de U y son realizadas a base de acero galvanizado. Las barras transversales de aluminio están montados sobre estos soportes Con el fin de evaluar los flujos de energía, se considera que para transportar la carpintería se necesitará 30 camiones, durante el proceso de galvanizado de los materiales usados, el fabricante proporciona los siguientes datos La cantidad de ácido clorhídrico, cloruro de amonio, cloruro de ácido Desengrasante Zinc.



2.7.3.4 **Cableado.**- Se puede llevar acabo simultáneamente con la realización de algunas obras civiles, tales como pozos de agua de lluvia. Se instalarán los siguientes elementos durante esta fase: 30 cajas de tipo Aurora para conectar las cadenas en paralelo; diferentes tipos de cables en la que 50% del peso es material conductor, el 25% es materiales aislantes y el restante 25% es vaina termoplástica; corrugada de polietileno de alta densidad, de doble pared; bandeja de cables; pozos sin fondo con tapas de hierro fundido y tapas de concreto; diversos equipos eléctricos, accesorios y tornillos. Para el transporte de materiales se utilizaron tres camiones. En cuanto a los flujos de energía, así como las emisiones atmosféricas, éstas sólo están relacionados con el gasóleo utilizado en los medios mecánicos durante la ejecución del trabajo.

2.7.3.5 **Instalación de equipos de conexión a la red eléctrica.**- Los componentes eléctricos considerados en el análisis son:

- **Inversor Ondulador:** Transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica,
- **Contadores de energía.- Contadores:** Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red para que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida. cada uno de los cuales tiene un total peso de 1,5 kg. 45% de peso es material conductor (cobre y acero), 40% de plástico y el 15% de diversos materiales (cristalográfia líquido, fibra de vidrio).
- **Instalación de Módulos Fotovoltaicos.-** Para la planta, en el trabajo realizado se usarán módulos fotovoltaicos de silicio policristalinos. Sus características se describen en la Tabla 2.4.

Las células se recubren con una capa de EVA (etileno acetato de vinilo) y estarán montados entre un soporte de plástico resistente al envejecimiento hecho de PET (tereftalato de polietileno) y PVDF (polivinilo), y una hoja de vidrio templado, que es la superficie del módulo. El estudio considera no sólo la instalación de los módulos, sino también su transporte y producción. Se transportaran en 14 camiones, que tienen una capacidad.



Ya que este estudio no se está realizando sobre un proyecto construido en el País y no contamos con datos exactos se ha hecho una adaptación de datos de la literatura con referirse a una publicación de los investigadores De Wild-Scholten y (Centro de Investigación de la Energía de los Países Bajos) Alsema. Su estudio es sobre la construcción de un LCA de producción de módulos de silicio cristalino, con la participación 11 empresas europeas y estadounidenses²⁵.

Tabla 2.4 Características de los Módulos

Poder	235Wp
Longitud	125mm
Ancho	125mm
Espesor	50mm
Peso	19,8kg
Número de Células	60
Tamaño de Celda	125x125mm ²
Rendimiento de los Módulos	14,4%
Garantía de Potencia Limitada	25 años en el 80% de la Potencia de salida mínima

2.7.4 Transporte

Desde las instalaciones de la fábrica hasta el sitio e donde van a ser instalados (País fabricante- País a ser instalado)

2.7.5 Desmantelamiento y Reciclaje

²⁵ De Wild-Scholten MJ, Alsema EA. Environmental life cycle inventory of crystalline silicon photovoltaic module production. In: Proceedings of materials research society symposium, Fall Meeting, Boston, USA, vol. 895; November 2005.



El 95 % del material semiconductor y el 90 % del vidrio puede ser reciclado
Es posible recuperar más de 80% del peso entrante y, por ejemplo, el cristal mixto extraído es fácilmente aceptado por la industria de la espuma de vidrio el aislamiento

4. Resultados de la evaluación del Impacto.

2.8 Software GEMIS

GEMIS es el acrónimo de Modelo Global de Emisión de Sistemas Integrados.

Tiene datos sobre la eficacia, potencia, tiempo de funcionamiento, la vida útil, emisiones atmosféricas directas, Emisiones de gases de efecto invernadero, residuos sólidos (cenizas, residuos FGD, lodos de tratamiento de aguas residuales, uso de la tierra incluye costos y transporte

2.9 Aplicación del Software

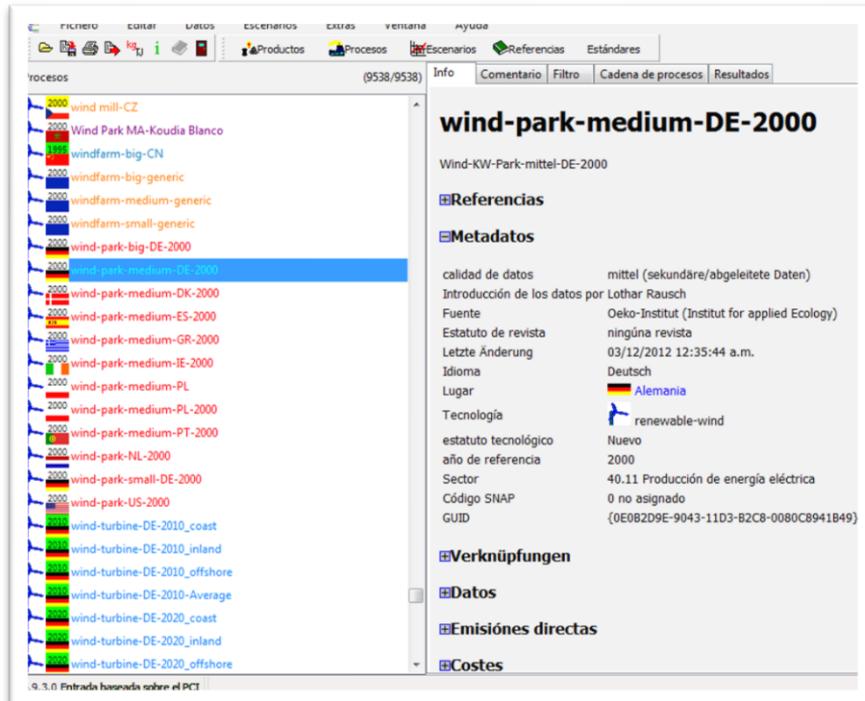


Figura 3.3 Aplicación en GEMIS para una planta eólica

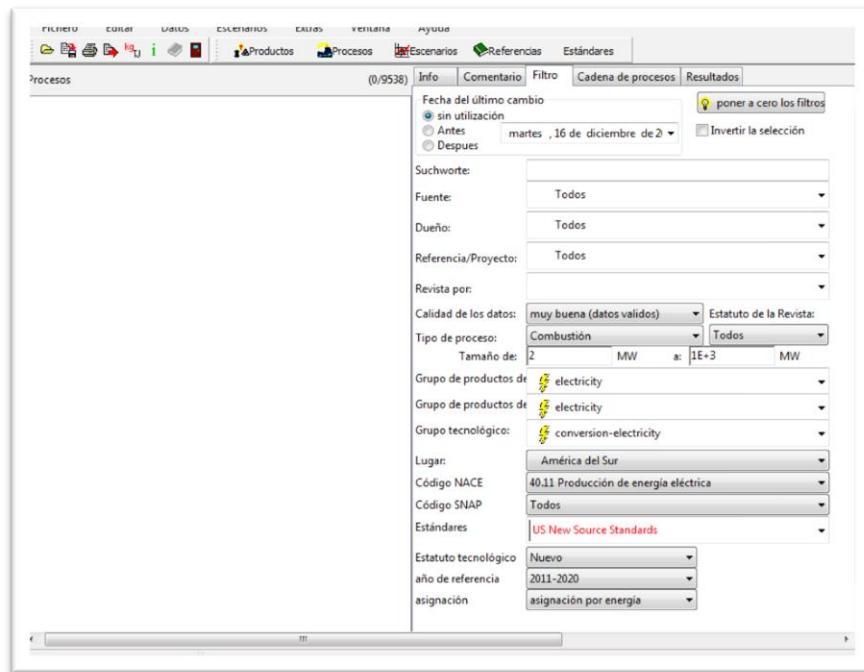


Figura 3.4 Aplicación en GEMIS para una planta eólica Filtros

2.9.1 Turbinas de Viento aplicación en GEMIS

BMU-LCA-EE: wind electricity 2010 [kWh]

Wind-KW-DE-2010-Bestand

2.9.1.1 Referencias

1 [BMU LCA-EE 2012](#)
2 [DLR/IWES/IFNE 2012](#)

2.9.1.2 Entradas

Calidad de datos	Mittel (sekundäre/abgeleitete daten)
Introducción de los datos por Fuente	Lothar rausch linas



Estatuto de revista	Revista terminada
Revista por	Uwe r. Fritsche
Fecha de referencia del programa	12/04/2013 10:33:42 a.m.
Idioma	Deutsch
Lugar	<u>Alemania</u>
Tecnología	Renewable-wind
Estatuto tecnológico	Reservas
Año de referencia	2010
Sector	40.11 producción de energía eléctrica
Código snap	0 no asignado
Guid	{66811aa7-7452-4ac0-b839-b72d71054234}

Tabla 3.1 Datos ingresados en el programa

2.9.1.3 Fabricación

Producto	proceso proveedor	Demanda
Entrada Primaria	Viento	
Gastos de fabricación		
<u>concrete</u>	<u>nonmetallic minerals\concrete-DE-2010</u>	$387.000 \cdot 10^3$ kg/MW
<u>steel</u>	<u>metal\steel-mix-DE-2010</u>	$135.000 \cdot 10^3$ kg/MW
<u>PP-granulate</u>	<u>chem-org\HDPE-injection moulding-APME-EU-2010</u>	$14.0000 \cdot 10^3$ kg/MW
<u>iron-ingot</u>	<u>metal\iron-cast-DE-2005</u>	$11.0000 \cdot 10^3$ kg/MW
<u>copper</u>	<u>metal\copper-DE-mix-2010</u>	$3.00000 \cdot 10^3$ kg/MW
<u>aluminum</u>	<u>metal\Aluminium-mix-DE-2010</u>	$1.50000 \cdot 10^3$ kg/MW
Salida principal	Electricidad	

Tabla 3.2 Datos de Fabricación

2.9.1.4 Datos

Potencia	2.0000000	MW
Tiempo de operación	$1.60000 \cdot 10^3$	h/a
Tiempo de vida	20.000000	a
Área	$1.82000 \cdot 10^3$	m ²
Empleo	0.0000000	Personas

Rendimiento	100.00000	%
Potencia firme	33.330000	%
Rendimiento	7.4880000	TJ/a

Tabla 3.3 Datos generales

2.9.1.5 Costos

Costes de inversión	1.6814*10 ⁶	€/MW	\$ 2.18585*10 ⁶
Suma	1.75500*10 ⁶	€/MW	\$ 2.18585*10 ⁶
Costes de capital	178.751*10 ³	€/TJ	\$ 439727.46
Costes fijos	65.0000*10 ³	€/TJ	\$ 159900
Suma	3997.51*10 ³	€/TJ	\$ 4916927.46

Tabla 3.4 Datos de costos

2.9.1.6 Resultados.

2.9.1.6.1 Emisiones en el aire

	Directa	En Cadena	Suma	
Equivalente en SO₂	8.3520642	8.3520642	kg	
TOPP-Equivalente	11.559235	11.559235	kg	
SO₂	4.0317096	4.0317096	kg	
NOx	6.0871801	6.0871801	kg	
HCl	53.178*10 ⁻³	53.178*10 ⁻³	kg	
HF	14.990*10 ⁻³	14.990*10 ⁻³	kg	
Partículas	2.6805884	2.6805884	kg	



CO	34.070056	34.070056	kg
NM VOC	251.78×10^{-3}	251.78×10^{-3}	kg
H2S	3.3280×10^{-6}	3.3280×10^{-6}	kg
NH3	6.0734×10^{-3}	6.0734×10^{-3}	kg
As (air)	94.559×10^{-6}	94.559×10^{-6}	kg
Cd (air)	51.995×10^{-6}	51.995×10^{-6}	kg
Cr (air)	440.83×10^{-6}	440.83×10^{-6}	kg
Hg (air)	173.37×10^{-6}	173.37×10^{-6}	kg
Ni (air)	381.09×10^{-6}	381.09×10^{-6}	kg
PAH (air)	3.6044×10^{-9}	3.6044×10^{-9}	kg
Pb (air)	2.6316×10^{-3}	2.6316×10^{-3}	kg
PCDD/F (air)	4.3641×10^{-9}	4.3641×10^{-9}	kg

Tabla 3.5 Emisiones en el aire

2.9.1.6.2 Emisión en el aire relevante para el efecto invernadero

	Directa	En Cadena	Suma
Equivalente en CO2	2.92719×10^3	2.92719×10^3	kg
CO2	2.62633×10^3	2.62633×10^3	kg
CH4	9.5278935	9.5278935	kg
N2O	43.441×10^{-3}	43.441×10^{-3}	kg
Perfluoromethano	5.5663×10^{-3}	5.5663×10^{-3}	kg
Perfluoroethano	703.30×10^{-6}	703.30×10^{-6}	kg

Tabla 3.6 Emisiones de gases de efecto invernadero

2.9.1.6.3 Residuos

	Directa	En Cadena	Suma	
Ceniza	28.247759	28.247759	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Residuo de DGC	4.9879165	4.9879165	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Lodos de depuración	68.481×10^{-3}	68.481×10^{-3}	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-

Residuos de producción	1.28393×10^3	1.28393×10^3	kg	synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en' mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Recubriendo	6.84323×10^3	6.84323×10^3	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
waste-nuclear fuel	590.58×10^{-6}	590.58×10^{-6}	kg	

Tabla 3.7 Resultados de Residuos

2.9.1.6.4 Aguas residuales

	Directa	En Cadena	Suma	
P		11.102×10^{-3}	11.102×10^{-3}	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
N		434.78×10^{-6}	434.78×10^{-6}	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
AOX		9.4214×10^{-6}	9.4214×10^{-6}	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
DQO		33.932064	33.932064	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
DBO5		990.96×10^{-3}	990.96×10^{-3}	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
sales inorg.		188.13×10^{-3}	188.13×10^{-3}	kg mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
As (liquid)		9.601×10^{-12}	9.601×10^{-12}	kg
Cd (liquid)		23.45×10^{-12}	23.45×10^{-12}	kg
Cr (liquid)		23.20×10^{-12}	23.20×10^{-12}	kg
Hg (liquid)		11.73×10^{-12}	11.73×10^{-12}	kg

12

Pb (liquid)	152.9×10^{-12}	152.9×10^{-12}	kg
-------------	-------------------------	-------------------------	----

Tabla 3.8 Resultados generados por el programa GEMIS para aguas residuales

2.9.1.6.5 Uso de recursos

Recursos requeridos acumulado de energía	
RAE-no renovable	35.990×10^{-3} TJ
RAE-renovable	1.0009924 TJ
RAE-Suma	1.0404947 TJ
Uso acumulado de energía	
CAE-no renovable	29.950×10^{-3} TJ
CAE-renovable	1.0009924 TJ
CAE-Suma	1.0344551 TJ
Recursos requeridos acumulado de materia	
RAM-no renovable	5.38838×10^3 kg
RAM-renovable	18.6678×10^3 kg
RAM-Suma	24.7222×10^3 kg

Tabla 3.9 Resultados para la cantidad de recursos, materia, y recursos energéticos,

2.9.1.6.6 Detalle de otros tipos de recursos requeridos

waste heat	-285.77×10^{-9}	TJ	Gasto de energía	(otros)
waste heat	-285.77×10^{-9}	TJ	Consumo de energía	(otros)
Nuclear	1.4981×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
Nuclear	1.4981×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
Biomass	24.519×10^{-6}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
Biomass	24.519×10^{-6}	TJ	Consumo de energía	(renovable)
Biomass	15.362851	kg	Gasto de materia	(renovable)

biomass-residues	63.075×10^{-6}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
biomass-residues	63.075×10^{-6}	TJ	Consumo de energía	(renovable)
biomass-residues	6.3430359	kg	Gasto de materia	(renovable)
Lignite	1.1528×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
Lignite	1.1528×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
iron-scrap	639.42664	kg	Gasto de materia	(otros)
natural gas	3.6125×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
natural gas	3.5666×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
natural gas	1.0200445	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Oil	9.8702×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
Oil	3.8766×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
Oil	149.84094	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Ores	1.25781×10^3	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Fe-scrap	7.5127×10^{-3}	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Geotermal	1.8020×10^{-6}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
Geotermal	1.8020×10^{-6}	TJ	Consumo de energía	(renovable)
Air	113.75273	kg	Gasto de materia	(renovable)
Minerals	3.97971×10^3	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Waste	257.27×10^{-6}	TJ	Gasto de energía	(otros)
Waste	257.27×10^{-6}	TJ	Consumo de energía	(otros)
NF-scrap	28.523447	kg	Gasto de materia	(otros)
secondary raw materials	3.2559×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(otros)
secondary raw materials	3.2559×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(otros)
secondary raw materials	-1.9568867	kg	Gasto de materia	(otros)
Sun	4.5118×10^{-6}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
Sun	4.5118×10^{-6}	TJ	Consumo de energía	(renovable)
coal (hard)	19.856×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no)



coal (hard)	$19.856 \cdot 10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	renovable) (no renovable)
Wáter	$18.5324 \cdot 10^3$	kg	Gasto de materia	(renovable)
Hydropower	$533.92 \cdot 10^{-6}$	TJ	Gasto de energía	(renovable)
Hydropower	$533.92 \cdot 10^{-6}$	TJ	Consumo de energía	(renovable)
Wind	1.0003645	TJ	Gasto de energía	(renovable)
Wind	1.0003645	TJ	Consumo de energía	(renovable)

Tabla 3.10 Resultados tipos de recursos requeridos para la fabricación de un aerogenerador

2.9.1.6.7 Uso de la tierra

El uso del suelo es: 10616.01m²

2.9.1.6.8 Efectos sobre el empleo

Efectos directos sobre el empleo	$968.84 \cdot 10^6$	Personas
Investigación	$98.649 \cdot 10^3$	Personas
Efectos sobre el empleo en el trabajo Costes fijos	$73.117 \cdot 10^3$	Personas
Efectos sobre el empleo en el trabajo Costes variables	$45.496 \cdot 10^6$	Personas
Efectos totales sobre el empleo	$172.78 \cdot 10^7$	Personas

Tabla 3.11 Resultados de la cantidad de empleo que se relaciona a un aerogenerador.

2.9.1.6.9 Factores Económicos

Factores económicos	BMU-Bioenergy-2010-reference (8% interest)
Factores de GEI	IPCC 2007 (100 years)
Externalidades	generic (updated)

Tabla 3.12 Factores Económicos.



2.9.1.6.10 Los siguientes campos están habilitados.

Antícpo de construcción	encendido
Transporte móvil	encendido
Localización	Localización predefinida
Eficiencia de extracción del recurso = 100% los residuos tratados/almacenados no están incluidos en los resultados	encendido
	encendido

Tabla 3.13 Interruptores encendidos para el cálculo.

2.9.2 Planta solar fotovoltaica aplicación GEMIS

2.9.2.1 *Planta Solar Fotovoltaica*

solar-PV-multi-DE-2010

Solar-PV-multi-Rahmen-mit-Rack-DE-2010

2.9.2.2 *Referencias*

- # 1 [BMU LCA-EE 2012](#)
- # 2 [SmartGreenScans 2012](#)

2.9.2.3 *Entradas*

Calidad de datos	mittel (sekundäre/abgeleitete Daten)
Introducción de los datos por	Lothar Rausch
Fuente	Oeko-Institut (Institut for applied Ecology)
Estatuto de revista	revista terminada
Revista por	Uwe R. Fritsche
Fecha de Referencia del	
Programa	11/02/2013 08:44:44 p.m.
Idioma	Deutsch



Lugar	<u>Alemania</u>
Tecnología	renewable-solar
Estatuto tecnológico	Nuevo
Año de referencia	2010
Sector	40.11 Producción de energía eléctrica
Código SNAP	0 no asignado
Guid	{DBBC46AB-AACB-4606-A03E-DB180EFFDEE5}

Tabla 3.14 Datos del fabricante para la planta solar

2.9.2.4 Características

Producto	Proceso proveedor	Demanda
Entrada Principal	Sol	
Gastos para la fabricación		
Silicón	<u>Fabrication\silicon-modul-multi-DE-2010</u>	55.5500×10^3 Kg/MW
Steel-sheet	<u>Metal\steel-sheet-zincing-DE-2010</u>	10.4100×10^3 Kg/MW
Aluminum	<u>Metal\Aluminium-mix-DE-2010</u>	10.4100×10^3 Kg/MW
Copper	<u>Metal\copper-DE-mix-2005</u>	2.77000×10^3 Kg/MW
Salida principal	Electricidad	

Tabla 3.15 Componentes y magnitudes de los paneles solares

2.9.2.5 Datos

Potencia	2.00000	MW
Tiempo de operación	1.00000×10^3	h/a
Tiempo de vida	30.000000	a
Área	2.05025×10^3	m ²
Empleo	0.0000000	Personas
Rendimiento	100.00000	%
potencia firme	0.0000000	%
Rendimiento	1.0800000	TJ/a



Tabla 3.16 Características de la planta solar fotovoltaica

2.9.2.6 Costes

Costes de inversión	$76320.048 \cdot 10^3$	€	\$ 9387420
Suma	$76320.048 \cdot 10^3$	€	\$ 338742
Costes de capital	$244.631 \cdot 10^3$	€/a	\$ 300896.13
Costes fijos	$2.76000 \cdot 10^3$	€/a	\$ 3394.8
Suma	$7890.47978 \cdot 10^3$	€/a	\$ 9705290.13

Tabla 3.17 Costos de Inversión

2.9.2.7 Resultados

2.9.2.7.1 Emisiones en el aire

	Directa	En Cadena	Suma	
Equivalente en SO₂	50.467363	50.467363	kg	
TOPP-Equivalente	109.13912	109.13912	kg	
SO₂	26.253461	26.253461	kg	
NOx	33.361591	33.361591	kg	
HCl	$280.43 \cdot 10^{-3}$	$280.43 \cdot 10^{-3}$	kg	
HF	$301.45 \cdot 10^{-3}$	$301.45 \cdot 10^{-3}$	kg	
Partículas	16.676617	16.676617	kg	
CO	592.83330	592.83330	kg	
NMVOC	2.3328701	2.3328701	kg	
H₂S	$13.171 \cdot 10^{-3}$	$13.171 \cdot 10^{-3}$	kg	
NH₃	$123.40 \cdot 10^{-3}$	$123.40 \cdot 10^{-3}$	kg	
As (air)	$186.83 \cdot 10^{-6}$	$186.83 \cdot 10^{-6}$	kg	
Cd (air)	$156.36 \cdot 10^{-6}$	$156.36 \cdot 10^{-6}$	kg	
Cr (air)	$816.30 \cdot 10^{-6}$	$816.30 \cdot 10^{-6}$	kg	
Hg (air)	$252.03 \cdot 10^{-6}$	$252.03 \cdot 10^{-6}$	kg	
Ni (air)	$1.2687 \cdot 10^{-3}$	$1.2687 \cdot 10^{-3}$	kg	
PAH (air)	$70.388 \cdot 10^{-9}$	$70.388 \cdot 10^{-9}$	kg	
Pb (air)	$52.540 \cdot 10^{-3}$	$52.540 \cdot 10^{-3}$	kg	
PCDD/F (air)	$7.6861 \cdot 10^{-9}$	$7.6861 \cdot 10^{-9}$	kg	

Tabla 3.18 Resultado de las emisiones en el aire.



2.9.2.7.2 Emisión en el aire relevante para el efecto invernadero

	Directa	En Cadena	Suma
Equivalente en CO2	$23.3629*10^3$	$23.3629*10^3$	kg
CO2	$20.0548*10^3$	$20.0548*10^3$	kg
CH4	63.817900	63.817900	kg
N2O	$703.93*10^{-3}$	$703.93*10^{-3}$	kg
Perfluoromethano	$167.78*10^{-3}$	$167.78*10^{-3}$	kg
Perfluoroethano	$21.550*10^{-3}$	$21.550*10^{-3}$	kg

Tabla 3.19 Resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero

2.9.2.7.3 Residuos

	En Cadena	Suma	
Ceniza	392.21803	392.21803	kg mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Residuo de DGC	68.986381	68.986381	kg mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Lodos de depuración	$582.04*10^{-3}$	$582.04*10^{-3}$	kg mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Residuos de producción	$3.07163*10^3$	$3.07163*10^3$	kg mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
Recubriendo	$33.1831*10^3$	$33.1831*10^3$	kg mas partes desconocidas en el proceso 'gasifier-EF+FT-synthesis\BtL-wood-SRF-0LUC-DE 2030 (Diesel)/en'
waste-nuclear fuel	$3.5884*10^{-3}$	$3.5884*10^{-3}$	kg

Tabla 3.20 Resultado de los residuos

2.9.2.7.4 Encabezamiento de las aguas residuales

En Cadena	Suma
-----------	------

P	183.40×10^{-6}	183.40×10^{-6}	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
N	5.0493×10^{-3}	5.0493×10^{-3}	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
AOX	23.835×10^{-6}	23.835×10^{-6}	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
DQO	95.741278	95.741278	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
DBO5	2.7733338	2.7733338	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
sales inorg.	122.11024	122.11024	kg	mas partes desconocidas en el proceso 'sewage-gas-ICE-cogen 200-OxCat-2020/en'
As (liquid)	2.4804×10^{-9}	2.4804×10^{-9}	kg	
Cd (liquid)	6.0583×10^{-9}	6.0583×10^{-9}	kg	
Cr (liquid)	5.9925×10^{-9}	5.9925×10^{-9}	kg	
Hg (liquid)	3.0292×10^{-9}	3.0292×10^{-9}	kg	
Pb (liquid)	39.511×10^{-9}	39.511×10^{-9}	kg	

Tabla 3.21 Resultado de los elementos presentes en las aguas residuales

2.9.2.7.5 Uso de recursos

Recursos requerido acumulado de energía			
RAE-no renovable	307.39×10^{-3}	TJ	
RAE-renovable	1.0513779	TJ	
RAE-Suma	1.3719939	TJ	
Uso acumulado de energía			
CAE-no renovable	286.27×10^{-3}	TJ	
CAE-renovable	1.0513779	TJ	
CAE-Suma	1.3508800	TJ	
Recursos requeridos acumulado de materia			
RAM-no renovable	7.21759×10^3	kg	
RAM-renovable	149.933×10^3	kg	
RAM-Suma	158.092×10^3	kg	

Tabla 3.22 Resultado de los recursos requeridos de materia y energía

2.9.2.7.6 Detalle de otros tipos de recursos requeridos

waste heat	$-7.5527*10^{-9}$	TJ	Gasto de energía	(otros)
waste heat	$-7.5527*10^{-9}$	TJ	Consumo de energía	(otros)
Nuclear	$9.0381*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
Nuclear	$9.0381*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
Biomass	$3.4733*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(renovable)
biomass	$3.4733*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(renovable)
biomass	154.47411	kg	Gasto de materia	(renovable)
biomass-residues	$12.934*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(renovable)
biomass-residues	$12.934*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(renovable)
biomass-residues	$373.82*10^{-3}$	kg	Gasto de materia	(renovable)
lignite	$12.404*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
lignite	$12.404*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
iron-scrap	699.66605	kg	Gasto de materia	(otros)
natural gas	$178.88*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
natural gas	$174.09*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
natural gas	105.49383	kg	Gasto de materia	(no renovable)
oil	$37.617*10^{-3}$	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
oil	$21.295*10^{-3}$	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
oil	423.56903	kg	Gasto de materia	(no renovable)
ores	$4.01712*10^3$	kg	Gasto de materia	(no renovable)
Fe-scrap	$101.30*10^{-6}$	kg	Gasto de materia	(no renovable)
geothermal	$621.83*10^{-6}$	TJ	Gasto de energía	(renovable)
geothermal	$621.83*10^{-6}$	TJ	Consumo de energía	(renovable)
air	382.17390	kg	Gasto de materia	(renovable)
minerals	$2.67141*10^3$	kg	Gasto de materia	(no renovable)

waste	4.9716×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(otros)
waste	4.9716×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(otros)
NF-scrap	61.508529	kg	Gasto de materia	(otros)
secondary raw materials	8.2587×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(otros)
secondary raw materials	8.2587×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(otros)
secondary raw materials	179.99582	kg	Gasto de materia	(otros)
sun	1.0065823	TJ	Gasto de energía	(renovable)
sun	1.0065823	TJ	Consumo de energía	(renovable)
coal (hard)	69.447×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(no renovable)
coal (hard)	69.447×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(no renovable)
water	149.396×10^3	kg	Gasto de materia	(renovable)
hydropower	10.756×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
hydropower	10.756×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(renovable)
wind	17.010×10^{-3}	TJ	Gasto de energía	(renovable)
wind	17.010×10^{-3}	TJ	Consumo de energía	(renovable)

Tabla 3.23 Resultado de otro tipo de recursos requeridos

2.9.2.7.7 Uso de la Tierra

El uso del suelo es: 2616.01 m²

2.9.2.7.8 Efectos sobre el empleo

efectos directos sobre el empleo	3.6127×10^{-3}	Personas
investive Beschäftigungseffekte	74.606×10^{-3}	Personas
betriebliche Beschäftigungseffekte Costes fijos	27.990×10^{-3}	Personas
betriebliche Beschäftigungseffekte Costes variables	823.63×10^6	Personas
Efectos totales sobre el empleo	107.03×10^3	Personas

Tabla 3.24 Resultado de la cantidad de empleo generado



2.9.2.7.9 Factores Económicos

Factores económicos BMU-Bioenergy-2010-reference (8% interest)

Factores de GEI IPCC 2007 (100 years)

Externalidades generic (updated)

Tabla 3.25 Factores económicos

2.9.2.7.10 Los interruptores siguientes están activos

Antícpo de construcción	encendido
Transporte móvil	encendido
Localización	Localización predefinida
Eficiencia de extracción del recurso = 100% los residuos tratados/almacenados no están incluidos en los resultados	encendido
Antícpo de construcción	encendido
Transporte móvil	encendido
Localización	Localización predefinida
Eficiencia de extracción del recurso = 100% los residuos tratados/almacenados no están incluidos en los resultados	encendido

5 RETscreen@International

Es un sistema software de gestión de energías limpias para el análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración, así como para el análisis del rendimiento energético operativo.

6. Valoración



6.1 Metodología de los Ecoindicadores

Una de las formas de realizar el ACV es mediante Ecoindicadores. El valor del Ecoindicador es un número que expresa el impacto ambiental de un material, proceso, consumo energético, transporte, etc. Permitiendo así comparar diferentes variantes de un producto de forma cuantitativa.

El uso de los Ecoindicadores es relativamente sencillo, ya que la multiplicación del Ecoindicador de un material por la cantidad de ese material que lleva el producto da una cifra que representa el impacto ambiental del producto debido a ese material en concreto. De igual forma se multiplicarán el peso y el kilometraje del transporte por su indicador correspondiente para conocer el impacto ambiental del transporte, etc. Cuanto mayor es el resultado mayor es el impacto ambiental.

6.2 Tree

Ha sido creado por Biplax Industrias del Mueble S.A.

Cubre la necesidad de una herramienta práctica e intuitiva que simplifique el análisis del ciclo de vida tanto en el proceso de diseño de nuevos productos como en el rediseño de productos ya existentes.

El programa incluye las bases de datos de Ecoindicadores, además de una base de datos de pesos específicos y herramientas de cálculo de áreas, volúmenes y peso entre otras.

6.3 Trabajar con Tree

Tree ha sido diseñado con el objetivo de crear una herramienta de ayuda para realizar Ecodiseño,

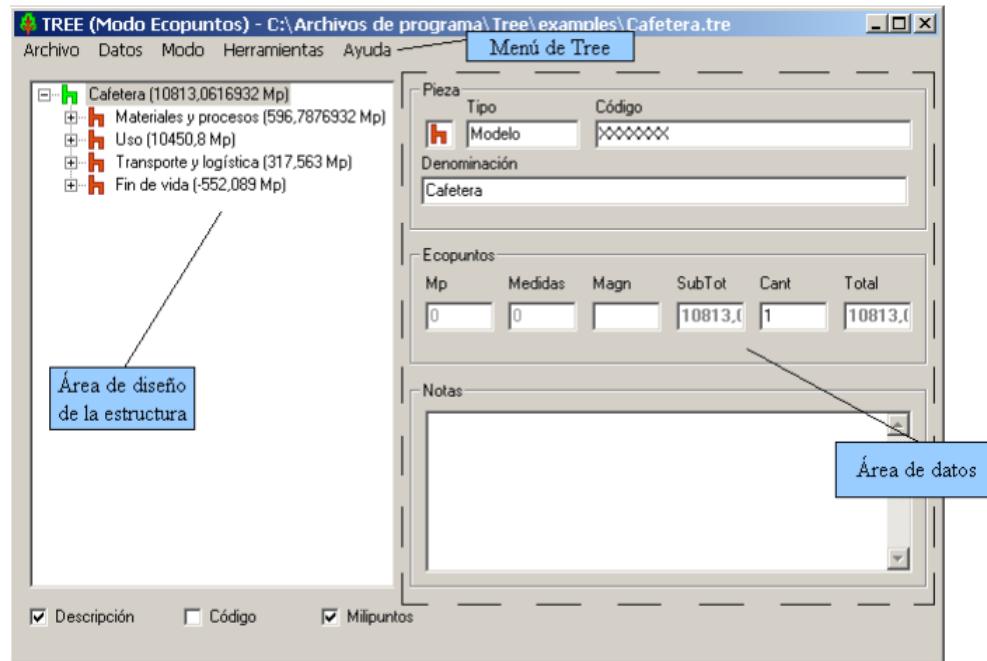


Figura 3.5 Aplicación de Tree

6.4 Resultados

Tipo de Generación	Valoración (Ecopuntos)
Eólica	127116mp
Solar Fotovoltaica	130383mp

Tabla 3.27 Resultados de la valoración de Ecopuntos

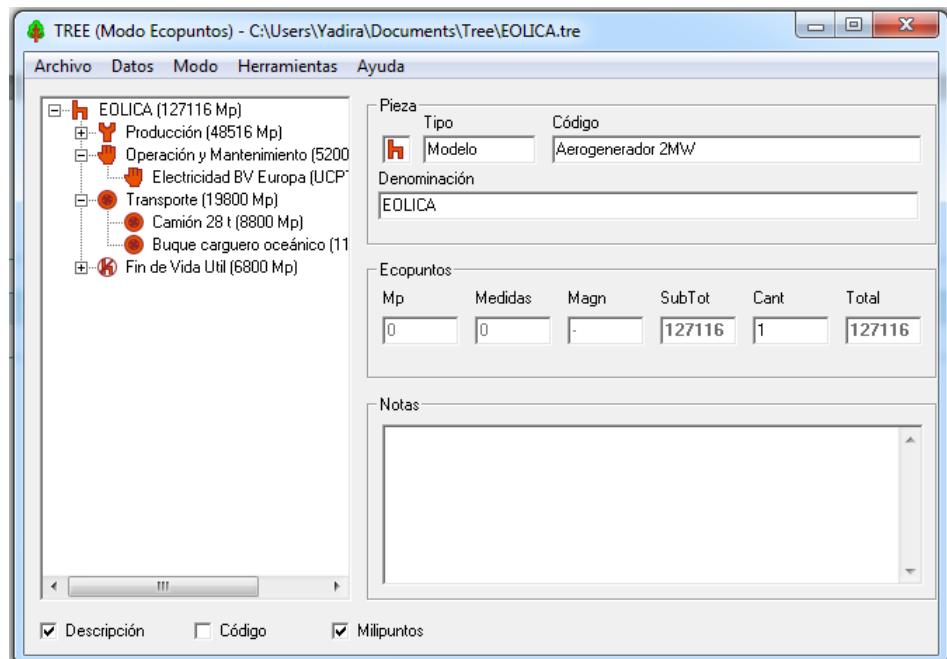


Figura 3.6 Cálculo de Ecopuntos en Aplicación Tree de Generación Eólica

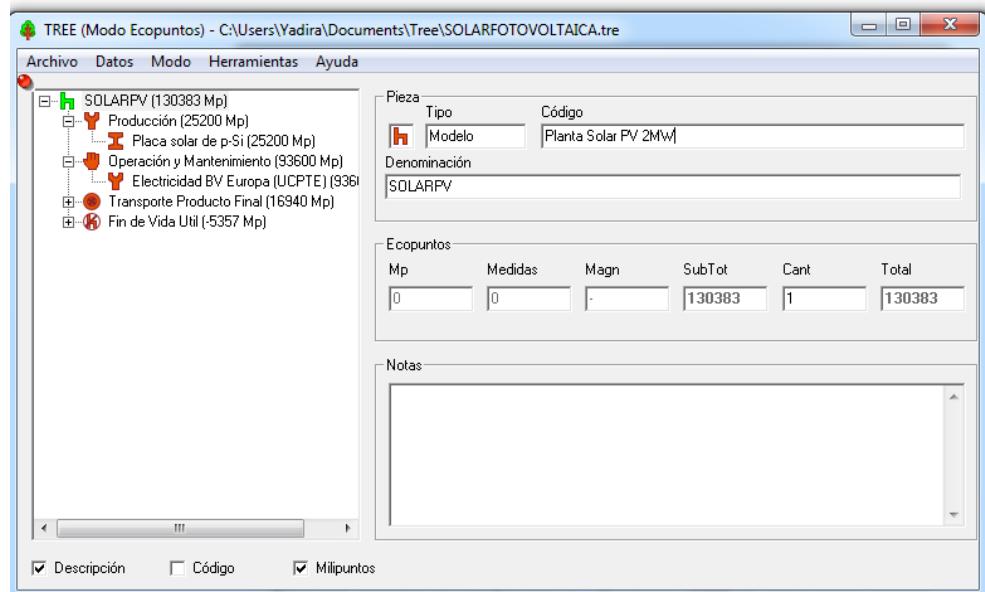


Figura 3.7. Cálculo de Ecopuntos en Aplicación Tree de Generación SolarPV.

Capítulo 4

Interpretación de los resultados y valoración

1 Emisiones al aire

Las emisiones que se propagan en el aire, son compuestos principalmente generados por la combustión, como el Monóxido de Carbono (COx) o el Dióxido de azufre (SO₂), y la evaporación de hidrocarburos que provocan efectos ambientales indeseables.

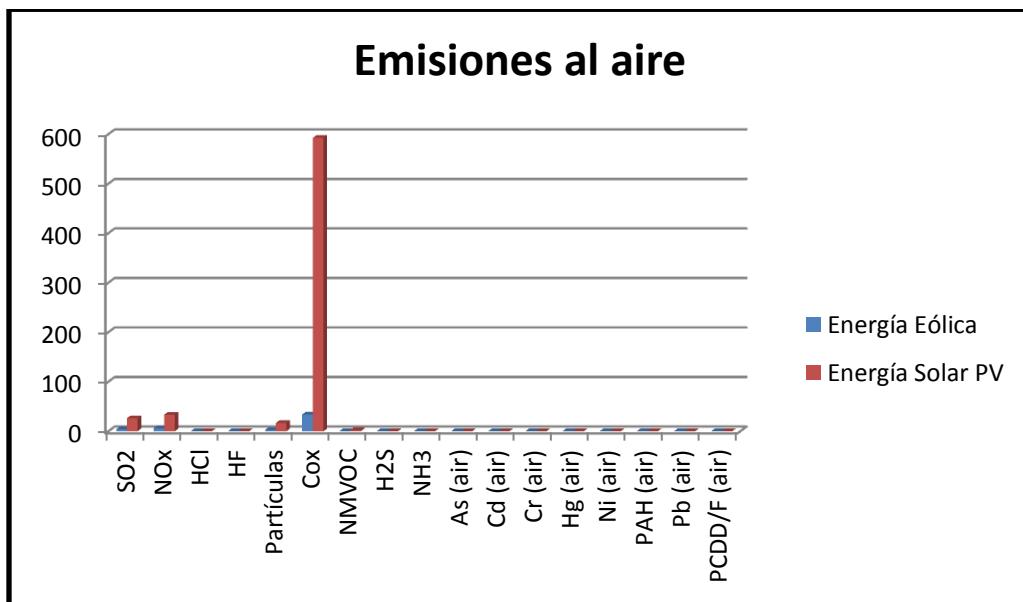


Figura 4.1 Resultado de las Emisiones al aire

De la Figura 4.1 construida con los resultados generados por el programa GEMIS, se puede observar que el gas con más incidencia en las emisiones al aire, que se originan como resultado de la generación solar fotovoltaica, es el Cox (óxido de carbono), con 592.83kg de emisiones frente a 34.070kg de emisiones originadas por la generación eólica; siendo 17 veces mayor las emisiones que se producen

por la energía solar fotovoltaica, frente a la energía eólica; luego, las emisiones de óxido nitroso, junto con las emisiones de dióxido de azufre, son las de mayor impacto, pero siguen siendo 5 veces mayor, las emisiones por energía solar fotovoltaica, frente a las emisiones que tienen por origen, la generación eólica.

7 Emisiones de gases de efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero, son aquellos que se encuentran en la capa de ozono, y poseen alta capacidad para absorber calor, provocando la elevación de temperatura en el planeta tierra.

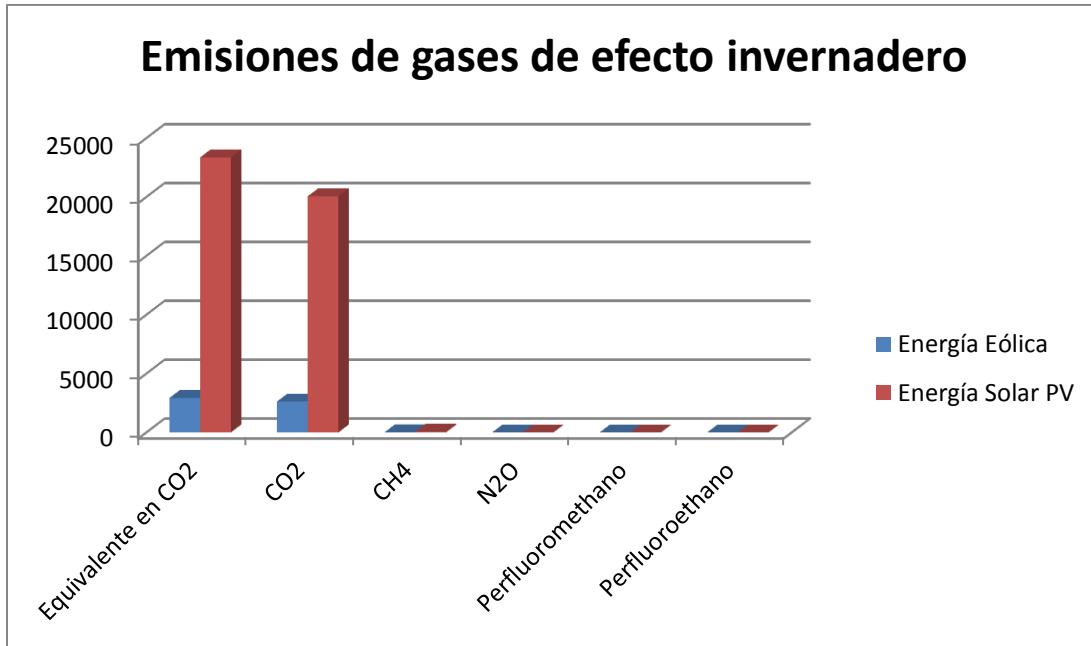


Figura 4.2.1 Resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero.

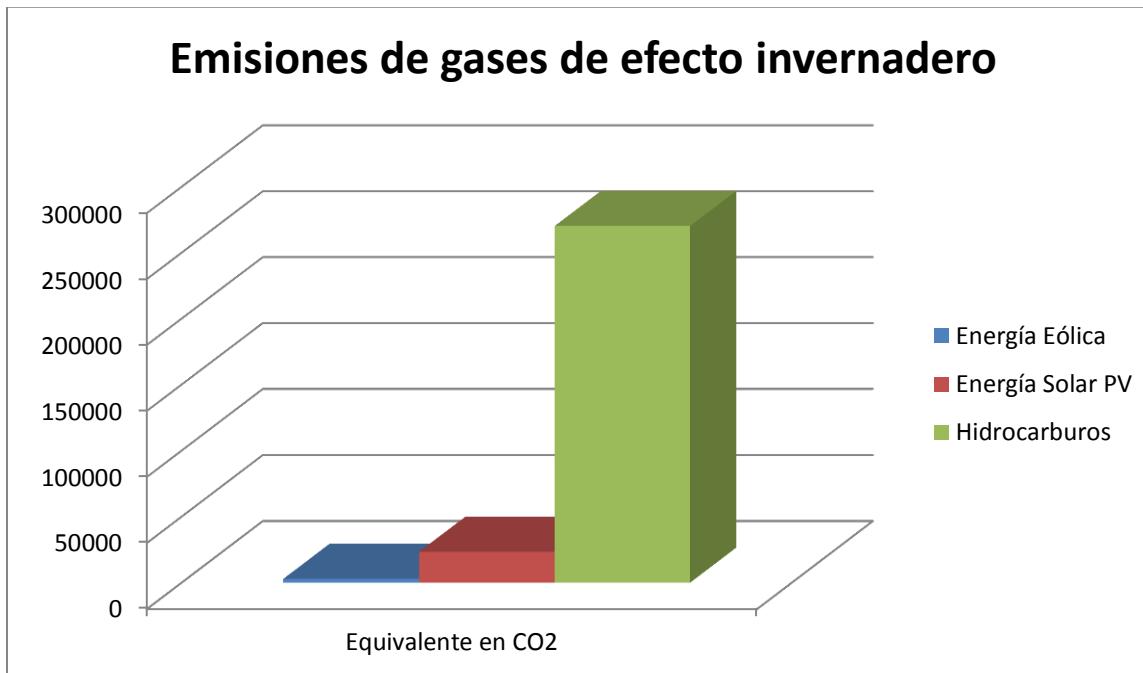


Figura 4.2.2 Resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como resultado de la aplicación del programa GEMIS se obtiene la Figura 4.2. Realizando un análisis de los mencionados resultados, se puede afirmar que la mayor cantidad de emisiones corresponden al Carbono, con 20054.8kg cuando se trata de generación solar fotovoltaica; y, con 2626.33kg en el caso de la generación eólica; expresando una relación aproximada de 8 veces más, entre la primera, respecto de la segunda. Se puede observar también, que los otros gases de efecto invernadero son de muy baja incidencia, en relación al Carbono, de tal manera que al realizar la equivalencia de todas las emisiones, las de carbono, representan el 89.71%; en tanto que, los demás gases, representan apenas el 10.28%.

8 Residuos

Se define como residuo, a cualquier material que su productor o dueño, considera que no tiene valor suficiente para retenerlo.

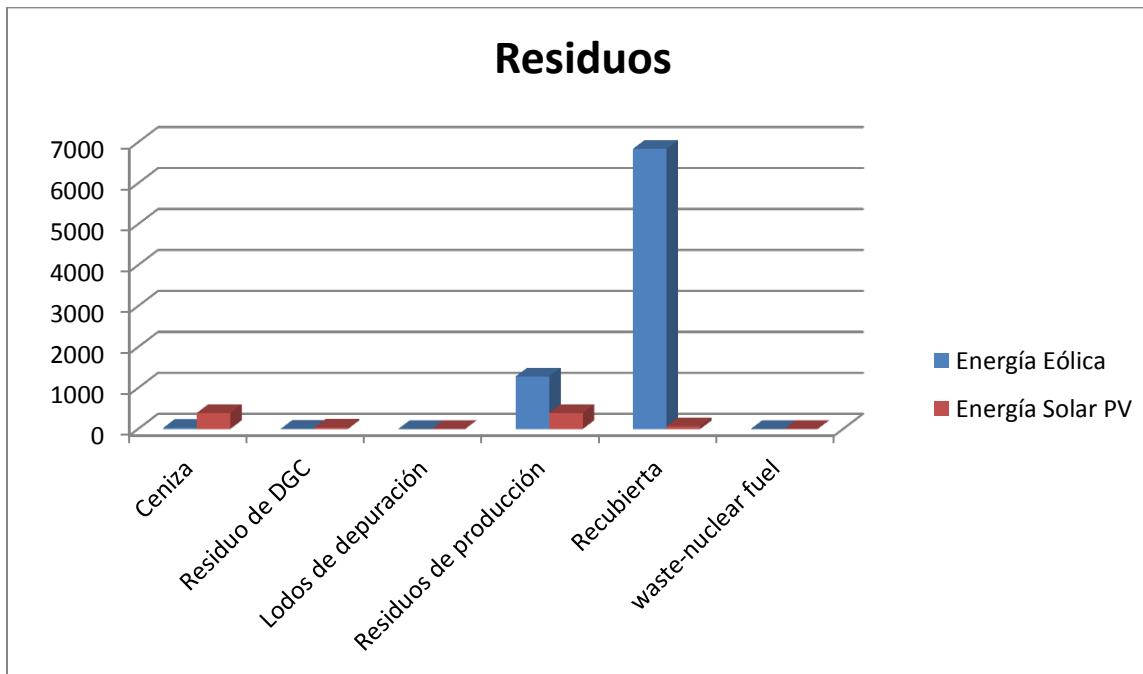


Figura 4.3 Resultados de Residuos Sólidos

Los resultados plasmados en la Figura 4.3 son obtenidos por el Software GEMIS, y nos muestran el nivel de incidencia de los residuos que no son reciclables, y que origina inevitablemente, contaminación ambiental; considerando al efecto aquellos que son generados durante todo el proceso que se inicia con la fabricación de los artefactos necesarios para cada tipo de generación, hasta su desmantelamiento; siendo los desechos de recubierta, los de más alto impacto, pero esta vez en la generación Eólica con 6843.23kg frente a 68.98kg que resultan de la generación solar PV, siendo aproximadamente 100 veces mayor. A continuación, se encuentran los residuos de producción, con 1283.93kg correspondientes a la generación eólica y 33.98kg a la generación solar fotovoltaica; siendo esta última, menor en 4 veces a aquella.

9 Encabezamiento de Aguas Residuales

El término **agua residual** define un tipo de agua que está contaminada.

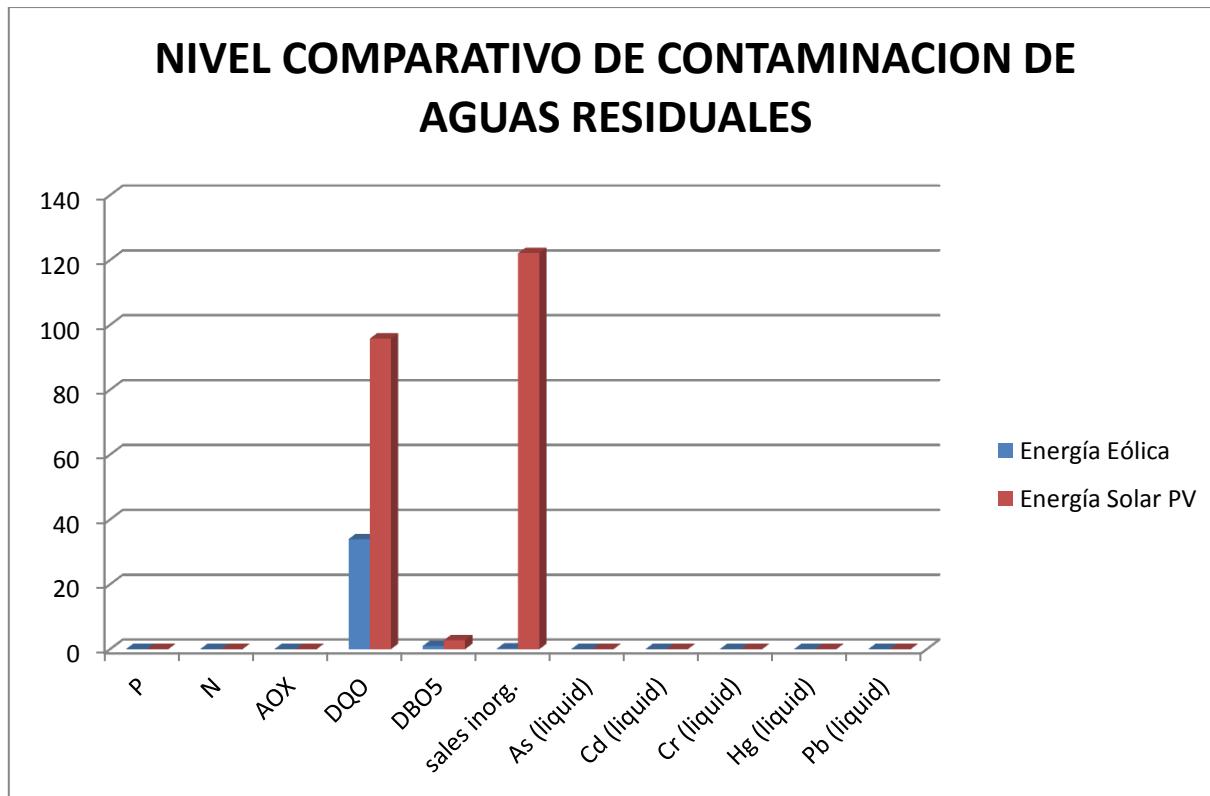


Figura 4.4. Encabezamiento de aguas residuales.

En la figura 4.4 se observa que el nivel de sales inorgánicas en la generación solar fotovoltaica, contiene 122.11kg más partículas desconocidas, frente a 0.18 de la generación eólica; con una relación de 677 veces más contaminación de agua, en la generación eólica.

10 Recursos necesarios y acumulados.

Son la cantidad de recursos necesarios para el funcionamiento de una central de generación. Pueden ser de origen renovable, o no renovables; usando como unidad, el Joule.

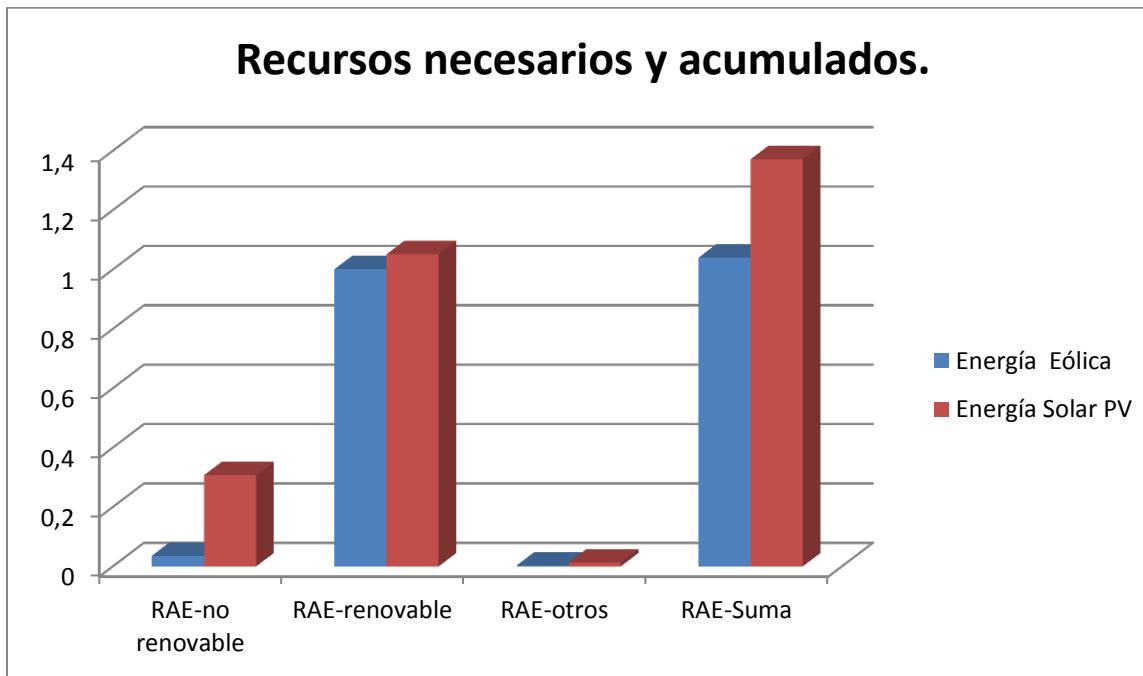


Figura 4.5 Recursos necesarios, acumulados.

Se muestra en la figura 4.5, en base a los datos obtenidos por medio del software antes mencionado; que, en la generación solar fotovoltaica, se usan 1.053TJ frente a 1.00TJ que requiere la energía Eólica de recursos renovables para funcionar. En cuanto a recursos no renovables, la energía solar fotovoltaica usa 0.307TJ frente a 0.0359TJ de la generación eólica; lo que significa, que la primera usa aproximadamente 9 veces más recursos no renovables que la segunda; es decir, para su funcionamiento los dos tipos de tecnologías usan una cantidad similar de recursos de energía renovable, mientras que en la cantidad de recursos no renovables, existe una marcada diferencia, siendo el requerimiento de estos recursos, mayor en la generación solar fotovoltaica

11 Uso de recurso acumulado de energía

Es la cantidad de energía necesaria para poner en funcionamiento la central, se usa el Joule como unidad de medida.

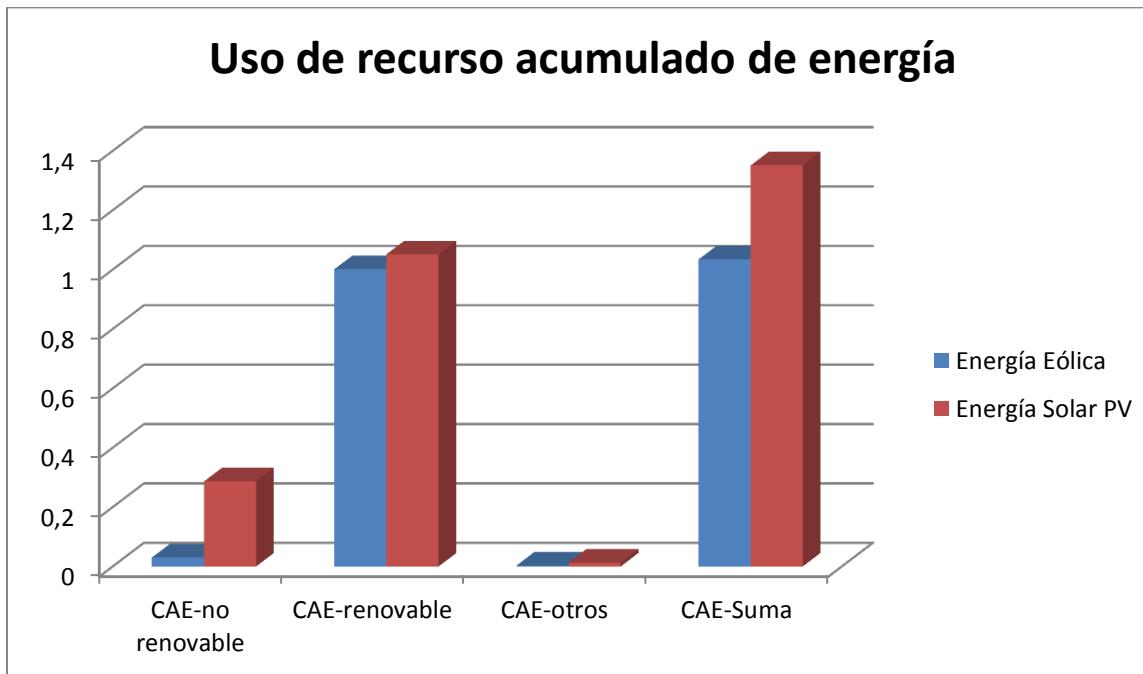


Figura 4.6 Uso de recurso acumulado de energía.

La cantidad de energía requerida, se encuentra exhibida en la Figura 4.6, creada a base de los resultados generados por el Software GEMIS. Se puede observar que 1.053TJ son necesarios para que funcione la planta solar fotovoltaica, mientras que 1.00TJ, son requeridos para el funcionamiento de la planta eólica, en tanto que 0.28TJ de energía, son transformados a base de energía no renovable en la planta solar fotovoltaica, y en la planta eólica 0.029TJ. En resumen la cantidad de recursos renovables es 0.5 veces mayor en la tecnología solar PV que en la eólica; la cantidad de recursos no renovables a su vez, es 10 veces mayor, en consideración a los requerimientos de energía solar PV, respecto de la eólica; por lo que en la CAE acumulada, la energía Solar PV, presenta el mayor consumo de recursos de energía en su funcionamiento.

12 Recursos requeridos

Es la cantidad de materia como recursos requeridos para poner en funcionamiento la central, se usa el gramo como unidad de medida.

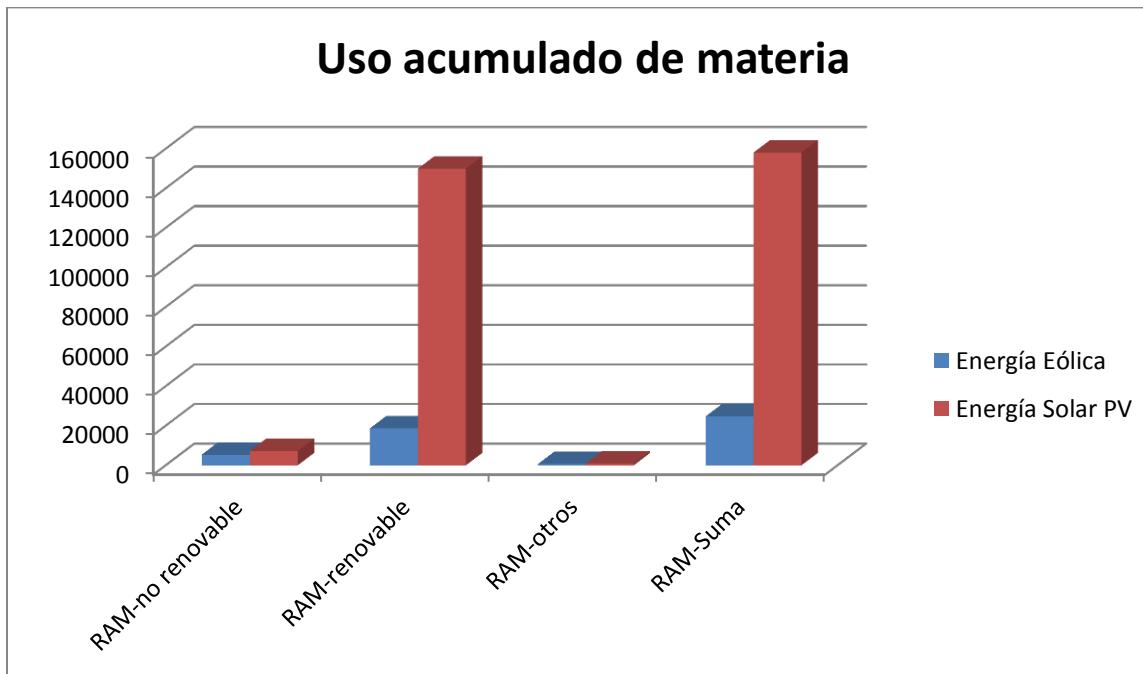


Figura 4.7 Recursos requeridos, acumulado de materia.

Se muestra en la figura 4.7 en base a los datos obtenidos por medio del software antes mencionado, que en la generación solar fotovoltaica, se usan 149933kg frente a 18667.8kg que usa la energía Eólica de recursos renovables para funcionar. En cuanto a recursos no renovables, la energía solar fotovoltaica usa 7217.59kg frente a 5388.38kg de la generación eólica, lo que significa que la primera usa aproximadamente 8 veces más recursos renovables que la segunda; y 1.3 veces mayor, en cuanto a recursos no renovables. Es decir, para su funcionamiento, los dos tipos de tecnologías usan una cantidad similar de recursos de materia no renovable, mientras que en la cantidad de recursos renovables, existe una señalada diferencia, siendo el requerimiento de estos últimos recursos, mayor en la generación solar fotovoltaica.

13 Uso del suelo

El uso del suelo, se relaciona con la cantidad de espacio utilizado, en el emplazamiento de los diferentes tipos de generación, analizados en el presente estudio.

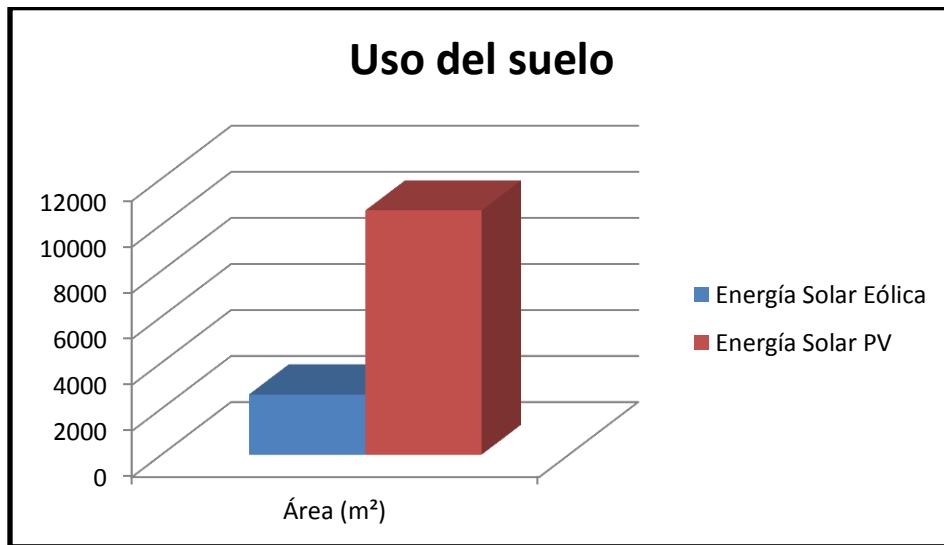


Figura 4.8 Uso del Suelo.

Es clara y marcada la diferencia en la Figura 4.8 de las áreas usadas en los diferentes tipos de generación siendo aproximadamente 5 veces mayor el área requerida para una planta solar fotovoltaica que para una planta de generación eólica,

14 Costo Económico

Es el valor en dólares aproximado considerando que existen servicios que pueden variar dependiendo del tiempo de aplicación, como del proveedor que se escoja.

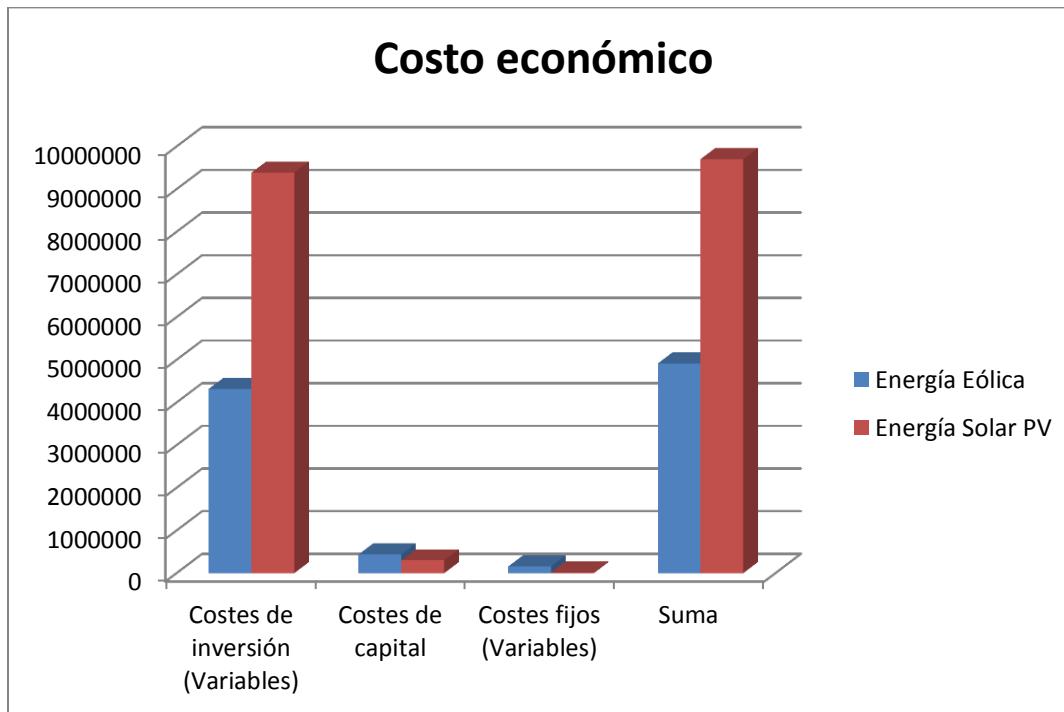


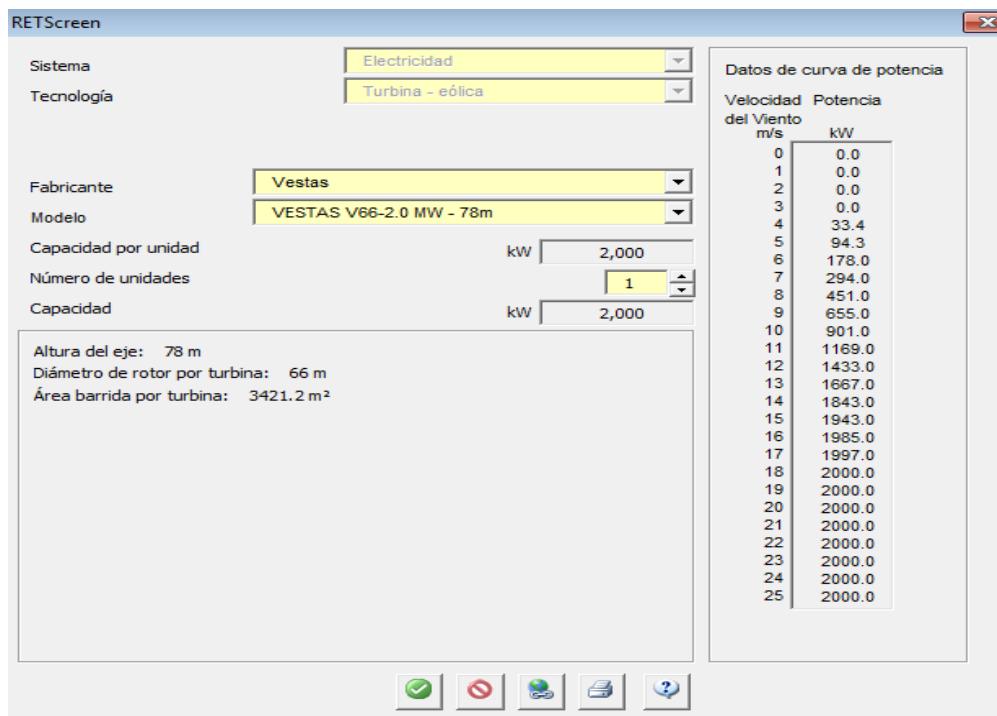
Figura 4.9 Costos Económicos.

En la Figura 4.9 se evidencia el costo que podría alcanzar en la actualidad el montaje de las tecnologías presentadas en este trabajo, siendo la Energía solar PV la más elevada con un costo aproximado de \$ 9705290.13, y en comparación con la energía eólica que presenta un precio de \$ 4916927.46 siendo la tecnología Solar PV dos veces más cara que la eólica.

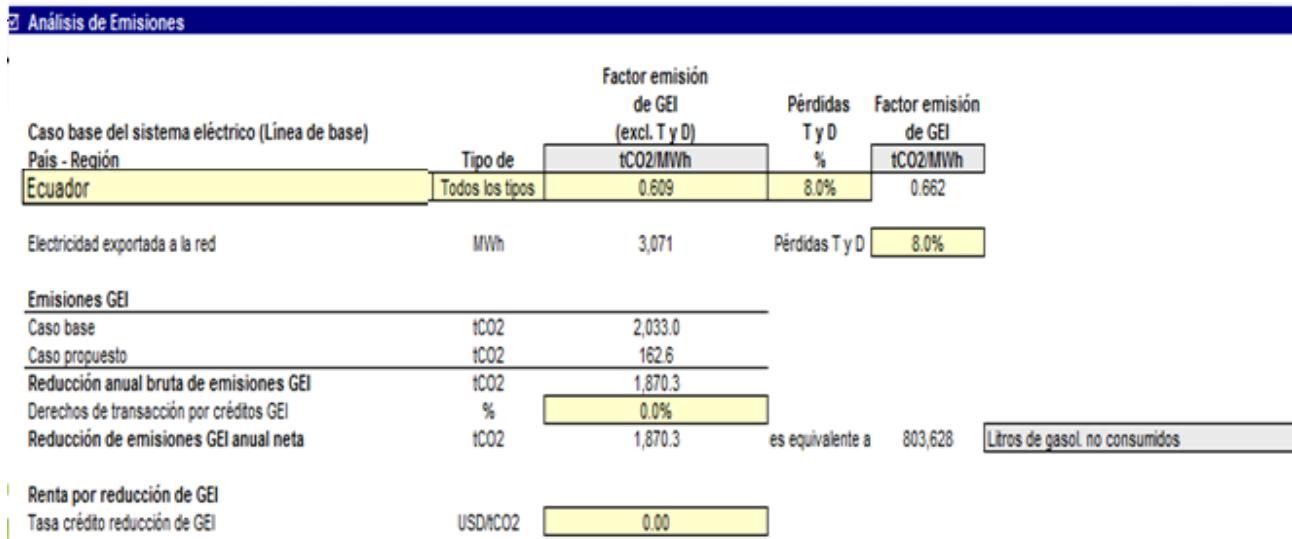


10. Resultados del Software Resultados de RETScreen

10.1. Características del Aerogenerador



10.2. Emisiones Al Aire



10.3. Ámbito Geográfico

	Manta	
Velocidad del viento - anual	m/s	6.4
Medido a	m	65.0
Coeficiente de cizallamiento del viento		0.14
Temperatura del aire - anual	°C	24.4
Presión atmosférica - anual	kPa	98.3
 Turbina - eólica		
Capacidad eléctrica por turbina	kW	2,000.0
Fabricante	Vestas	
Modelo	VESTAS V66-2.0 MW - 78m	
Número de turbinas		1
Capacidad de generación eléctrica	kW	2,000.0
Altura del eje	m	78.0
Diámetro de rotor por turbina	m	66
Área barrida por turbina	m²	3,421
Datos de curva de energía		Estándar
Factor de forma		2.0
		USD 5,908,600

10.4. Características de la Planta Solar Fotovoltaica

RETScreen

Sistema	Electricidad
Tecnología	Fotovoltaico
Tipo	mono-Si
Fabricante	Sunpower
Modelo	mono-Si - SPR-210-BLK
Capacidad por unidad	W 210
Número de unidades	10
Capacidad	W 2,100
Eficiencia: 16.88 % Área de la estructura: 1.24 m²	
    	



Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto

Tipo de análisis	<input type="radio"/> Método 1 <input type="radio"/> Método 2
Fotovoltaico	
Capacidad de generación eléctrica	kW 2.10
Fabricante	Sunpower
Modelo	mono-Si - SPR-210-BLK
Factor de utilización	% 11.0%
Electricidad exportada a la red	MWh 2.0
Tarifa de exportación de electricidad	USD/MWh 403.00

10.5. Análisis de Emisiones

Análisis de Emisiones

Caso base del sistema eléctrico (Línea de base)	Factor emisión de GEI (excl. T y D)	Pérdidas T y D %	Factor emisión de GEI	
			Tipo de	tCO2/MWh
Pais - Región				
Ecuador	Todos los tipos	0.718	8.0%	0.781
Electricidad exportada a la red	MWh	1,927	Pérdidas T y D	3.0%
Emisiones GEI				
Caso base	tCO2	2.33		
Caso propuesto	tCO2	45.1		
Reducción anual bruta de emisiones GEI	tCO2	1,459.5		
Derechos de transacción por créditos GEI	%	0.0%		
Reducción de emisiones GEI anual neta	tCO2	1,459.5	es equivalente a	627,093 Litros de gasol. no consumidos
Renta por reducción de GEI				
Tasa crédito reducción de GEI	USD/tCO2	0.00		

11. Valoración (análisis por Ecopuntos)

Es un paso que puede ser cualitativo o cuantitativo, y en el que se pondra la importancia relativa de los diferentes impactos medioambientales. La valoración puede no estar necesariamente fundamentada en el análisis científico, se pueden incluir valores de tipo ético, socioeconómico, etc.

Por lo que es necesario definir que la ética es el conjunto de normas que rigen el comportamiento del ser humano, permitiéndole distinguir entre lo bueno y lo malo, lo importante en el desarrollo de este trabajo es no caer en lo antiético , para poder obtener resultados reales de la comparación sin perjudicar o alterar resultados para beneficiar a uno de los dos sistemas aquí analizados

11.1. Resultados del Software Ecodiseño Tree

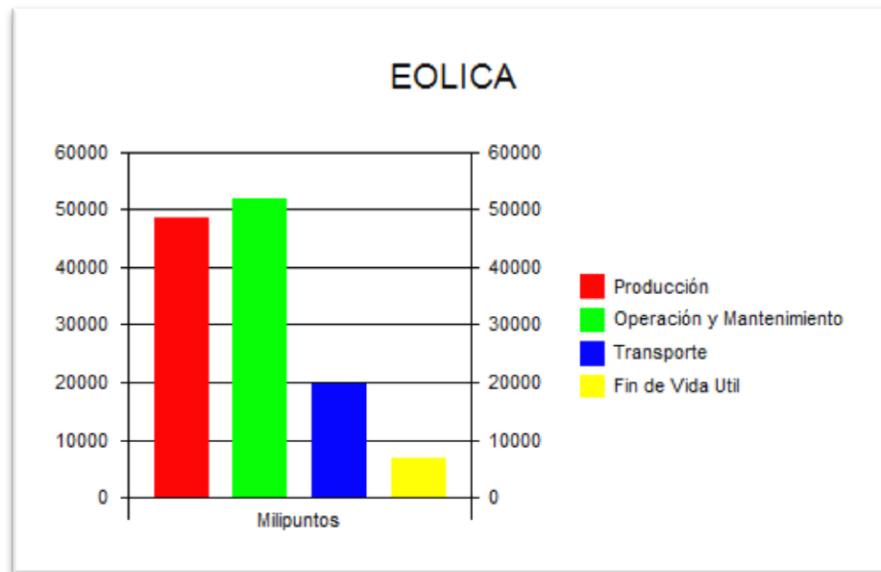


Figura 4.10. Resultados de Ecopuntos de Generación Eólica

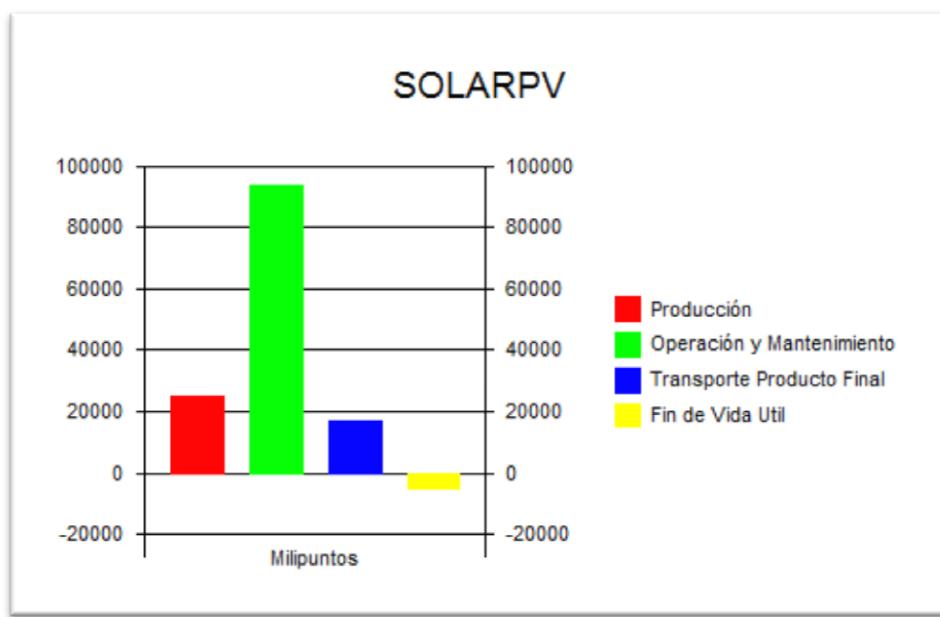


Figura 4.11. Resultados de Ecopuntos de Generación SolarPV

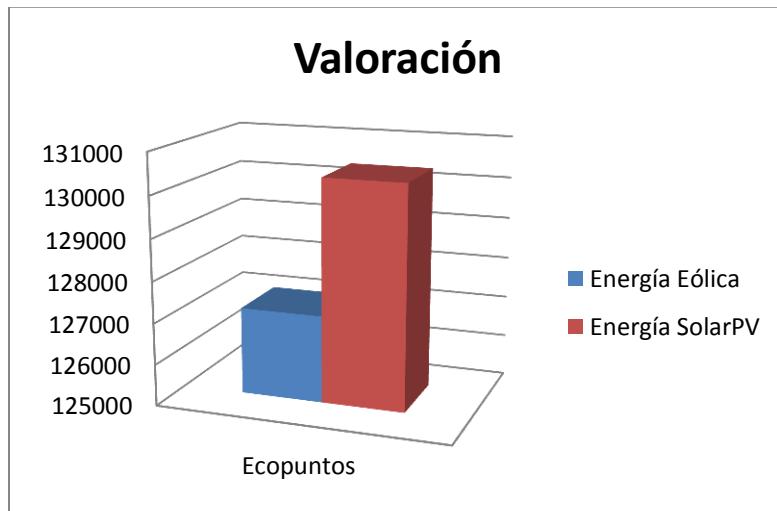
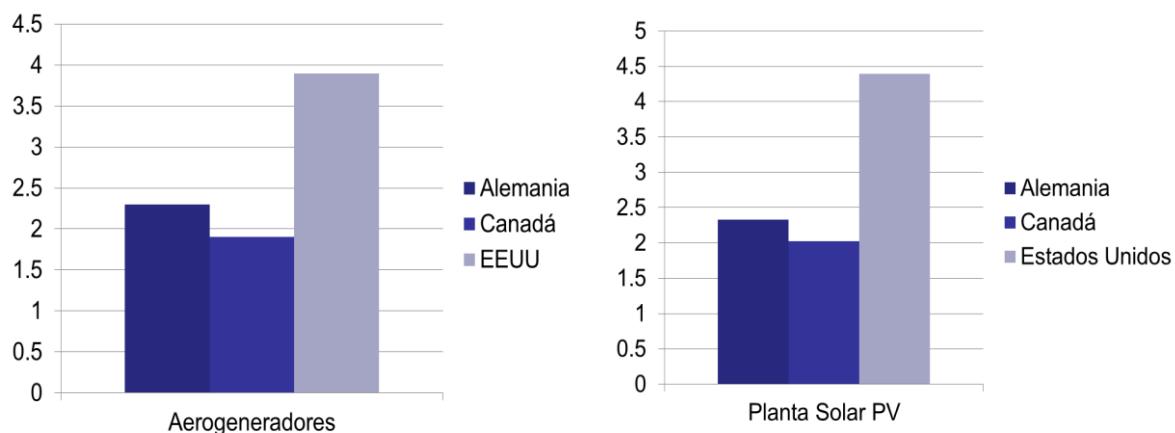


Figura 4.12. Resultados Valoración General

En cuanto a la valoración realizada con el software TREE, analizamos la cantidad de ecopuntos generados por la generación eólica obteniendo 127116mp, y 130383mp en la generación solar fotovoltaica, siendo esta última superior a la primera, originando mayor impacto ambiental.

12. Ampliación del Estudio

Para la ampliación del presente trabajo se analiza la contaminación producida por los principales proveedores comparando un aerogenerador y una planta solar PV. de las mismas características.



Siendo Canadá el País que menos contamina asumiendo esta diferencia a que, la energía usada para fabricar los aerogeneradores y la planta Solar PV. es energía



limpia, poseyendo este país una de las 5 matrices energéticas más amigables con el medio ambiente



Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

1 Conclusiones

Luego de la aplicación del método de Análisis del Ciclo de Vida que permitió comparar a las tecnologías de generación eléctrica Eólica y Solar Fotovoltaica; y una vez realizados los cálculos y procesados los resultados correspondientes, se puede concluir que:

- “De la Cuna a la Tumba”. El Análisis del Ciclo de Vida o *Life Cycle Assessment* (LCA), es un método que permite evaluar el impacto potencial sobre el medio ambiente de un producto, proceso, o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida. Cuantifica el uso de recursos naturales en forma de ‘entradas’ (recursos energéticos, materias primas, agua...) y ‘salidas’ (emisiones de CO₂, residuos, aguas residuales, costo económico, el uso del suelo). Permite conocer la ‘mochila ecológica’ del producto, a lo largo de las diferentes etapas de su vida.
- El tiempo de vida útil de una planta de generación, está relacionado directamente con el tiempo de vida útil de sus componentes. En el caso de la generación fotovoltaica, el periodo determinado es de 30 años de vida útil, donde el análisis de los componentes de una central solar PV (principalmente los paneles) viene dado por los datos del fabricante. El tiempo de vida útil, es superior a los 20 años para una central de generación eólica, según los datos proporcionados igualmente, por los respectivos fabricantes.
- Respecto del tema ambiental, se puede efectuar la comparación, en función de los gases de efecto invernadero emitidos, que son aquellos



que contribuyen al cambio climático, y producen un mayor impacto negativo sobre el ecosistema. Sin embargo, es necesario puntualizar que, las emisiones en Carbono equivalente, al momento de realizar el ejercicio comparativo de sus niveles, muestran una relación aproximada de 8 veces más emisiones, entre la generación solar PV, respecto de la generación Eólica. Ello significa que, el proceso de fabricación de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, así como su posterior operación y abandono, (una vez que han cumplido su vida útil) comparados con los sistemas eólicos, producen un impacto negativo 8 veces mayor, lo que podría repercutir en la salud de las personas, y sobre todo en la preservación de un ambiente sano, para las generaciones futuras.

- El impacto ambiental que pueden ocasionar los proyectos de producción, tanto de energía eólica como fotovoltaica, en cierta forma tiene niveles parecidos; pero, si emprendemos una comparación absolutamente imparcial de estas fuentes, respecto de las energías producidas con hidrocarburos, la distancia es abismal; por lo que, desde el ángulo de la sustentabilidad, los proyectos de energía limpia, como los que son materia de este estudio, son altamente promisorios; sobre todo, si con ello se puede ir abandonado progresivamente, el uso de las centrales que producen CO₂ (Dióxido de carbono), que son ampliamente cuestionadas por las consecuencias graves conocidas por todos.
- El presente estudio, muestra además el nivel de incidencia de los residuos que no son reciclables, y que originan inevitablemente, contaminación ambiental; considerando para el efecto, aquellos residuos que son generados durante todo el proceso, que se inicia con la fabricación de los artefactos necesarios para cada tipo de generación, hasta su desmantelamiento; siendo los desechos de la cubierta (rotor), los de más alto impacto. En esta parte, se puede concluir que, la generación Eólica, genera 100 veces más residuos, que los que resultan del proceso de generación solar PV. Este indicador, es el único que se ha detectado, invierte la relación causa-efecto en su nivel comparativo; pues, debido a la dificultad o imposibilidad de reciclar los componentes y accesorios que forman parte de los equipos de generación eólica, su impacto es muy difícil minimizar, y menos eliminar sus efectos; lo que no



ocurre con los elementos obsoletos de una central solar PV, cuyos componentes pueden ser reciclados, mitigando al máximo su impacto negativo. Sin embargo, la incidencia de este indicador en la valoración total de los dos sistemas, no es significativa; por lo tanto, se mantienen con muy poca variabilidad, las ventajas de la energía eólica sobre la solar.

- En el aspecto económico, es necesario precisar que la energía solar fotovoltaica, exige una inversión mayor que la energía eólica, en una relación de dos a uno; sin embargo, para que este estudio no quede huérfano de significación en el contexto histórico ecuatoriano, se debe aclarar que, comparando el costo integral de un proyecto que se sostenga en cualquiera de las dos tecnologías de generación mencionadas anteriormente, es más costosa a largo plazo, si las comparamos con la energía hidráulica que, ha venido siendo impulsada con mucha más contundencia en estos últimos tiempos; sabiendo que en este caso la comparación de costos, arroja una diferencia de \$1.5 millones de dólares por MW en la hidráulica frente a \$2.4 millones de la energía eólica, y los \$4,8 millones de la solar fotovoltaica.
- En cuanto a costos, con la ayuda del programa GEMIS, se pudo analizar algunos indicadores; entre ellos, para qué año se proyecta la construcción de la central de generación, el tipo de energía primaria que desee usar, el País que se elija como proveedor, el tamaño de la central a usar, etc. Se llega a la conclusión de que una central de 2 MW de potencia, que tenga como energía primaria la proveniente del sol (central fotovoltaica), tendría un costo aproximado de \$ 9'700.000. Ello representa un valor dos veces mayor, en comparación a la energía eólica, que para una central de la misma capacidad, tendría un costo aproximado de \$ 4'900.000. Si bien estos indicadores son aplicables a un proyecto de únicamente 2MW; sin embargo, la diferencia de valores, mantiene una similar proporción, entre el costo y la cantidad de MW a instalar. Por ejemplo, una central de 100MW, de ser movida por energía eólica tendría un costo superior a los \$ 245 millones de dólares, en tanto que si se sustenta en energía solar PV, su precio oscilaría entre los \$ 485 millones de dólares. Deduciendo los valores, y remitiéndonos a la



unidad, tendríamos entonces que la energía eólica, tendría un costo aproximado de \$ 2.4 millones por MW, en tanto que la energía solar PV podría ser producida a un costo de \$ 4.8 millones por MW.

- Atendiendo a la relación costo beneficio de un proyecto de esta naturaleza, se puede concluir que, cualquiera de los dos proyectos es sostenible en el mediano y largo plazo; sin embargo, intentando optimizar tanto recursos, cuanto resultados, un proyecto que se sostenga en la generación eólica, tiene un índice positivo de sostenibilidad, considerando al efecto sus diferentes aristas, entre ellas, indicadores de costo, niveles de producción, capacidad de comercialización; elementos a los que debe sumarse la circunstancia de que, el producto tiene mejor precio de venta, cuando se origina en fuentes de energía renovables, en comparación con la energía en base a hidrocarburos, que tienen serios cuestionamientos ecológicos. Existe una corriente mundial que se ha plasmado inclusive en acciones concretas, como las de crear estímulos y premios, a aquellos países o sociedades que abandonan y desmantelan centrales térmicas, y las sustituyen por otros sistemas de generación más amigables con el ambiente.



2. Recomendaciones

- Para mejorar la calidad de los resultados, es necesario emplear una herramienta computacional con actualizaciones recientes, que nos permita obtener resultados más fieles a la región que se desea analizar. Sin embargo, el factor económico es un limitante por el costo de las licencias de los programas. Es una opción, el uso de programas de libre pago, como el usado en el desarrollo de este trabajo investigativo; pero los factores usados, no son específicos al País, sino relativos a la región.
- La ampliación de este trabajo investigativo, se puede realizar comparando diferentes fabricantes de las turbinas, o de los paneles, y así profundizar en el análisis del Ciclo de Vida, con mayor información acerca de los productos, para que al momento de decidir entre uno u otro fabricante, escoger la mejor opción en base a los resultados técnicos de un LCA.
- Los gobiernos de la región que deseen invertir en generación eléctrica, deberían considerar la realización de estudios como el presente trabajo investigativo, que les permita una visión global del proyecto a emprender, y escoger la opción más adecuada, no solo desde el punto de vista económico, sino también que sea amigable con el medio ambiente, y además, sustentable; tomando como primera alternativa, la generación a base de recursos renovables.
- Que, estudios como los que se han realizado en este trabajo investigativo, y otros que se desarrollen con mayor profundidad, sean difundidos tanto a nivel de quienes toman decisiones políticas, como de la ciudadanía, para conseguir que se tome conciencia de la necesidad de su valoración y emprendimiento, evitando que hayan decisiones equivocadas, con el pretexto de que no se conocía a tiempo, sobre las diferentes variables que le sirven de soporte.
- Finalmente, al considerar, la diferencia entre las acciones depredadoras del medioambiente, o aquellas que se interesan por respetarlos, como no está



determinada únicamente por criterios técnicos, sino lamentablemente se incorporan ahí conceptos y aspiraciones políticas, que no están exentos de intereses económicos, a veces ni siquiera disimulados; quienes por ellas, realizan esfuerzos enormes por "convencer" a la sociedad, que la contaminación es un mal necesario e inevitable, y hasta intencionalmente, se oculta información que bien podría permitir a la sociedad asumir una posición, que posiblemente podría ser de cuestionamiento a las políticas estatales, y en esa falta de información, se garantiza la recurrencia, en el uso de estos sistemas depredadores del ambiente. Por ello se considera que, debe ser una obligación de todos, mostrar resultados que siendo absolutamente objetivos, puedan servir de elementos de base, para que se tomen decisiones a nivel de las instancias que tienen capacidad resolutiva.