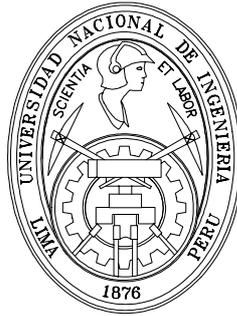


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS DE GRADO
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
MEDIANTE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BOSQUES
EÓLICOS”**

**RENATO CHÁVEZ CAJAHUANCA
PROMOCIÓN 2005 - II**

Lima 2006

DEDICATORIA

En especial a mi abuela Constanza Campos, por sus enseñanzas, comprensión, cariño y apoyo recibidos de su parte, en todas las etapas de mi vida, gracias por enseñarme a caminar. Agradecimiento a mi Padre Renato por sus sabias enseñanzas, a mi Madre Emiliana por su apoyo incondicional, a mi hermana Mabel por su comprensión, porque el símbolo de nuestra unión familiar, me impulso a merecerlos más, los quiero mucho. Un agradecimiento sincero al Ing. Reynaldo Villanueva Ure, maestro de maestros quien me guió en mi vida universitaria y profesional. A mis compañeros del Colegio Claretiano y de la FIM. Asimismo un agradecimiento al Señor Pedro Manrique por su colaboración desinteresada.

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	I
PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	4
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO II	7
CAMBIO CLIMÁTICO	7
2.1 Antecedentes	7
2.2 Bases teóricas	9
2.2.1 La atmósfera	10
2.2.2 Composición atmosférica	13
2.2.3 Equilibrio energético en la atmósfera	15
2.3 Efecto Invernadero	22
2.4 Impacto en el Mundo	24
2.4.1 América Central	25
2.4.2 Venezuela	25
2.4.3 Estados Unidos	26
2.4.4 Antártida	27
2.4.5 Gran Bretaña	27
2.4.6 Sur de Europa	28
2.4.7 Mozambique	29
2.4.8 Bangladesh	29
2.4.9 Indonesia	30
2.4.10 Australia	31
2.5 Vulnerabilidad al Cambio Climático en Perú	31
2.5.1 Recursos Hídricos de Alta Montaña	32
2.5.2 Los Impactos del Fenómeno El Niño	33
CAPÍTULO III	36
MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO	36
3.1 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC)	36

3.1.1	Introducción	36
3.2	El Protocolo de Kyoto	41
3.2.1	Gases de efecto invernadero	44
3.2.2	Actividades que producen gases de efecto invernadero	45
3.2.3	Posible escenario para el 2010	46
3.3	Mercados de Carbono	46
3.3.1	Mercados de Carbono en el ámbito mundial	47
3.4	Principios de Proyectos MDL	49
3.4.1	Conceptos de Proyecto MDL	49
3.4.2	Actores y funciones que desarrollan	51
3.4.3	Requisitos de elegibilidad que deben cumplirse en el MDL	58
3.4.4	Calendario de implantación del MDL	62
3.4.5	Los Certificados de Emisiones Reducidas (CERs)	63
3.5	Etapas de un Proyecto MDL	63
3.6	Diseño	65
3.6.1	Base de referencia o Línea base	66
3.6.2	Adicionalidad	70
3.6.3	Período de acreditación	72
3.6.4	Vigilancia	73
3.6.5	Repercusiones ambientales	76
3.6.6	Aprobación por el País anfitrión	79
3.7	Validación	80
3.8	Registro	82
3.9	Implantación y Vigilancia	82
3.10	Verificación y Certificación	83
3.11	Expedición de Certificados de Emisiones Reducidas (CERs)	86
	CAPÍTULO IV	87
	NOCIONES DE METEOROLOGÍA E INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA	87
4.1	Nociones de meteorología	87
4.1.1	Zonas climáticas	88
4.2	Qué es el viento	89
4.2.1	Dirección y velocidad del viento	91
4.2.2	Medición de la dirección y velocidad del viento	93

4.3	Por qué y cómo se desarrolla el viento	94
4.4	Panorama de la energía del viento en el mundo	97
4.5	Las turbinas eólicas	98
4.5.1	Funcionamiento de un Aerogenerador	100
4.6	Potencia y energía disponibles en las turbinas eólicas	101
4.7	Sistemas de conversión en la energía eólica	105
4.7.1	Composición de los sistemas de conversión de energía eólica con conexión a red	106
4.7.2	SCEE de velocidad constante	107
4.7.3	SCEE de velocidad variable	108
CAPÍTULO V		109
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN BOSQUE EÓLICO DE 40 MW EN LA LOCALIDAD DE MALABRIGO		109
5.1	Características del emplazamiento	109
5.1.1	Antecedentes	110
5.1.2	Central Eólica de Malabrigo	110
5.1.3	Generación de energía eléctrica en la central eólica	111
5.1.4	Factor de Capacidad (FC)	112
5.1.5	Potencial eólico registrado	112
5.2	Memoria del Bosque eólico	113
5.2.1	Energía eólica	114
5.2.2	Descripción general del Bosque eólico proyectado	115
5.2.3	Evacuación de la energía	116
5.2.4	Características del emplazamiento. Criterios de selección.	116
5.2.5	Variación vertical del viento	117
5.2.6	Selección de las turbinas de viento	117
5.2.7	Disposición de los Aerogeneradores	118
5.2.8	Potencia del Bosque eólico	119
5.2.9	Cálculo de la Potencia a generar	120
5.2.10	Obra Civil	124
5.2.11	Análisis eléctrico del Bosque eólico	125
CAPÍTULO VI		127
EL DOCUMENTO DE DISEÑO DEL PROYECTO		127
6.1	Descripción General	127
6.2	Aplicación de la metodología de línea Base	128

6.2.1	Introducción	128
6.3	Duración de la actividad del Proyecto	131
6.4	Estimación de emisiones GEI	131
6.6	Impacto Ambiental	132
6.6.1	Visual	132
6.6.2	Ruido	132
	CAPÍTULO VII	134
	ANÁLISIS ECONÓMICO	134
7.1	Resumen económico del proyecto	134
7.2	Indicadores económicos	136
7.2.1	Valor Actual Neto (VAN)	137
7.2.2	Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	138
7.2.3	Cálculo de la relación B/C	138
7.3	Ingreso económico por Bonos de Carbono	139
	CONCLUSIONES	140
	RECOMENDACIONES	142
	BIBLIOGRAFIA	143
	ANEXOS	147

PRÓLOGO

La presente Tesis se desarrolla de una manera sintetizada, abarcando siete capítulos con alcances respaldados en 20 referencias bibliográficas de actualidad tecnológica y ambiental. Por medio de esta referencia quiero dar una idea de la inversión económica que se viene dando en la actualidad en proyectos con energías limpias a nivel mundial.

En el Primer Capítulo que corresponde a la introducción se presenta de manera amplia el objetivo de la presente tesis, se detallan los proyectos de generación eólica y la forma de como algunos países utilizan estas fuentes de energía limpia para gestionar ingresos económicos extras por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

En el Segundo Capítulo se describen los antecedentes referentes al cambio climático, como ha evolucionado, las proyecciones de este fenómeno, el impacto negativo que ha originado sobre el medio ambiente y la salud humana.

En el Tercer Capítulo se describe la respuesta internacional al cambio climático, las reuniones que se realizaron en los distintos países y sus acuerdos. El Protocolo de Kyoto que se acordó en una de esas reuniones conllevó al compromiso de los países a reducir sus emisiones y al establecimiento del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). También se menciona la respectiva documentación, los mercados externos y la venta de certificados de reducción de emisiones (CERs).

El Cuarto Capítulo describe al viento, los aerogeneradores, los bosques eólicos y su interconexión.

El Quinto Capítulo abarca el estudio de prefactibilidad de un bosque eólico de 40 MW en la localidad de Malabrigo (Trujillo)

El Sexto Capítulo describe la metodología de línea base para la cuantificación de reducción de emisiones del proyecto descrito en el capítulo anterior.

El Séptimo Capítulo muestra los resultados del análisis económico de un bosque eólico de 40 MW en Malabrigo, que califica al MDL como proyecto de gran escala, sus respectivos indicadores económicos que le dan viabilidad económica y se cuantifica el ingreso económico extra que recibirá este proyecto por ser de generación de energía limpia, asimismo de los gastos que involucran este tipo de proyectos. Es importante este capítulo

debido al tipo de financiación que tienen estos proyectos en Europa, asimismo se hace referencia a las oportunidades de negocio que se presentan en la actualidad con el tema de Mecanismo de Desarrollo Limpio y el uso de este conocimiento en proyectos de energías limpias en un futuro proyecto peruano.

Asimismo, se presentan las Conclusiones, Recomendaciones y la Bibliografía utilizada para la elaboración de la presente Tesis.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, resolvemos la mayoría de nuestras necesidades energéticas, consumiendo combustibles fósiles tales como el carbón, el petróleo o el gas. Cada día, esto produce millones de toneladas de óxido, de dióxido de sulfuro, de monóxido de carbono y de polvo, así como billones de toneladas de dióxido de carbono, el gas del efecto invernadero. Pero existen alternativas tales como las celdas de combustible, células solares, centrales hidroeléctricas y últimamente las centrales eólicas de auge en Europa.

Las plantas de energía eólica trabajan sobre el principio de la fuerza aerodinámica. El golpe del viento en la lámina del rotor genera presión positiva por debajo del aspa, mientras que por encima de ella se genera presión negativa. Esta diferencia de presiones genera una fuerza de elevación, que las centrales modernas de energía eólica utilizan para su funcionamiento y, por lo tanto, para la producción de electricidad. En febrero del 2005, la central más grande de energía eólica del mundo comenzó a operar en Alemania (Brunsbüttel). Este gigante de 183 metros de alto, el "Repower 5M", posee un rotor de 126 metros de diámetro, que oscila en una superficie equivalente a dos campos de fútbol por revolución. Esta planta

puede generar hasta cinco megavatios de electricidad, lo cual es suficiente como para abastecer alrededor de 4500 viviendas, un logro incomparable en todo el mundo. Las áreas convenientes para la instalación de grandes plantas de energía eólica son, sin embargo, escasas por lo que se están depositando grandes esperanzas en las centrales de energía eólica que están siendo establecidas en el mar. Alrededor del mundo, se están instalando algunos parques eólicos costeros, como por ejemplo en Dinamarca, Suecia, Países Bajos, Alemania e Inglaterra. El hecho de que la producción de energía generada en el mar sea alrededor del 50% más alta, se debe a que, entre otros factores, la superficie del agua casi no ofrece áreas de fricción al viento. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, las plantas costeras son considerablemente más costosas que las centrales eólicas terrestres, debido a que tienen que hacer frente a altos oleajes, tormentas y hielo. Esto las hace alrededor de un 60% más caras que los parques eólicos terrestres. La idea de un parque de energía eólica volador, suena como algo de ciencia ficción. Tendría dos rotores y produciría electricidad a una altura de cinco kilómetros, donde soplan vientos fuertes y regulares. La central de energía eólica voladora podría estar sostenida por un cable que también transportaría la energía generada hacia la tierra. Se elevaría hacia el cielo de forma similar a una cometa, y permanecería estable una vez en el aire. De todas formas, es todavía totalmente incierto si esta clase de parque eólico aerotransportado se construirá alguna vez en el futuro. Pero el uso de ésta y otras energías limpias tienen su auge con la firma del Protocolo de Kyoto que estableció mecanismos de flexibilidad: el

Mecanismo de Implementación Conjunta (IC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Refiriéndonos al MDL, es el único mecanismo que involucra a países en desarrollo, presentando un doble objetivo: ayudar a éstos en la obtención de su desarrollo sostenible mediante la implementación en su territorio, de proyectos de energías limpias que permitan obtener reducciones certificadas de emisiones de GEI y por otra parte ayuda a los países desarrollados en el cumplimiento de sus compromisos cuantificados de reducción de emisiones.

El objetivo principal de esta tesis es unir la parte técnica y económica para contribuir a la implementación y desarrollo de proyectos de energías limpias en nuestro país. Analizando los aspectos técnicos y económicos de los proyectos MDL, identificando los riesgos y retos que las empresas energéticas deben hacer frente al emergente mercado internacional del carbono. Esta es una nueva área que se nos presenta a los ingenieros, y nos motiva a permanecer siempre actualizados con los acontecimientos de cambio de matrices energéticas que aparecen en el mundo.

CAPÍTULO II

CAMBIO CLIMÁTICO

2.1 Antecedentes

A partir de los ochenta, pero sobre todo en la década de los noventa, comienzan a proliferar estudios científicos que señalan que la temperatura global del Planeta se está elevando a una tasa preocupante. El Tercer Informe de Evaluación llevado a cabo en el seno de Naciones Unidas por el Grupo de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001) estima esa elevación de la temperatura media mundial de la superficie terrestre en torno a 0.6°C.



Fig. 2.1 Campaña "Tú controlas el cambio climático" Madrid – España, 2006

Y según las estimaciones de los más recientes modelos climáticos, se prevé que la tendencia al alza se prolongue. Así, los pronósticos apuntan un incremento en la temperatura global del Planeta para el 2100 que oscilará entre 1.4 °C y 5.8 °C respecto al de 1990. Esta tasa de modificación de la temperatura terrestre es posiblemente la más alta desde el fin de la era glacial. (UNFCCC Climate Change Secretariat, 2002) Además de los cambios experimentados por la temperatura de la superficie terrestre, también se han observado modificaciones en otros aspectos relevantes del sistema climático, como el nivel medio del mar, la extensión de la capa de nieve terrestre y del hielo marino, o el régimen de precipitaciones, El cambio climático es uno de los retos más importantes a que se enfrentan los países en el Siglo XXI. Avanzar en los niveles de: bienestar, desarrollo humano, mantener la estabilidad y el crecimiento económico; supone un importante reto social y tecnológico, cuando no se deba interferir sobre el sistema climático en el mundo.

Según los estudios preliminares realizados por Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) sobre la vulnerabilidad del Perú ante el cambio climático, el Perú sería potencialmente vulnerable principalmente de dos formas: la primera en la afectación de las áreas de glaciares y los recursos hídricos comprendidos en éstas, y la segunda en los impactos del fenómeno del Niño sobre el ecosistema marino peruano, sobre la salud pública, sobre la agricultura y la infraestructura. Los mismos que han quedado demostrados en los efectos de los fenómenos del Niño durante las últimas décadas, así como la constatación, mediante inventario, de una drástica reducción de las

áreas de glaciares con un marcado incremento del balance negativo en los 15 últimos años. Ésta es la principal justificación para que el país preste atención al fenómeno del cambio climático global y decida las acciones que estén a su alcance para aminorar el proceso de calentamiento de la Tierra inducido por actividades humanas.

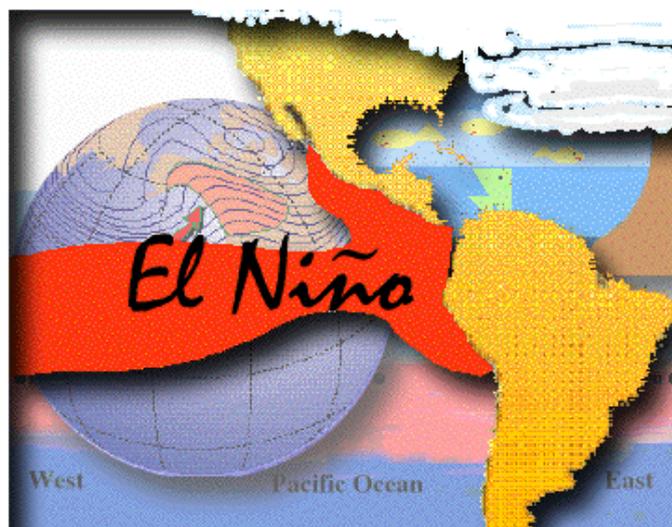


Fig. 2.2 El fenómeno del Niño sobre el ecosistema marino

La postura científica mayoritaria en la actualidad sostiene que el cambio climático se está produciendo.

2.2 Bases teóricas

Para poder comprender el cambio climático global y el aumento de la temperatura global se debe primero comprender el clima global y como opera. El clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criósfera), los organismos vivientes (biosfera), los suelos, sedimentos y rocas (geosfera) Sólo si se

considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global.

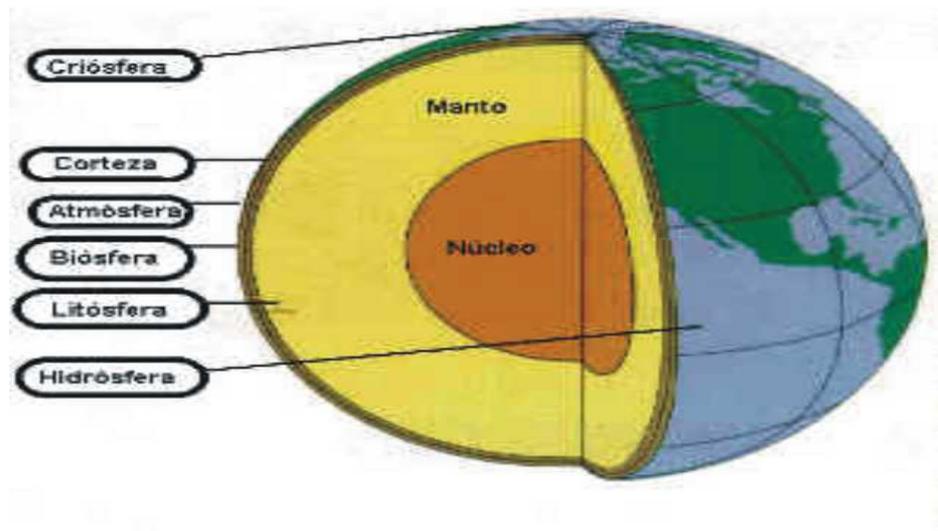


Fig. 2.3 Capas de la tierra

2.2.1 La atmósfera

Es la capa gaseosa que rodea al planeta Tierra, se divide teóricamente en varias capas concéntricas sucesivas. Estas son, desde la superficie hacia el espacio exterior: troposfera, tropopausa, estratosfera, estratopausa, mesosfera y termosfera. La atmósfera es uno de los componentes más importantes del clima terrestre, es quien primordialmente determina el estado del clima global, por ello es esencial comprender su composición y estructura. Los gases que la constituyen están bien mezclados en la atmósfera pero no es físicamente uniforme

pues tiene variaciones significativas en temperatura y presión, relacionado con la altura sobre el nivel del mar.

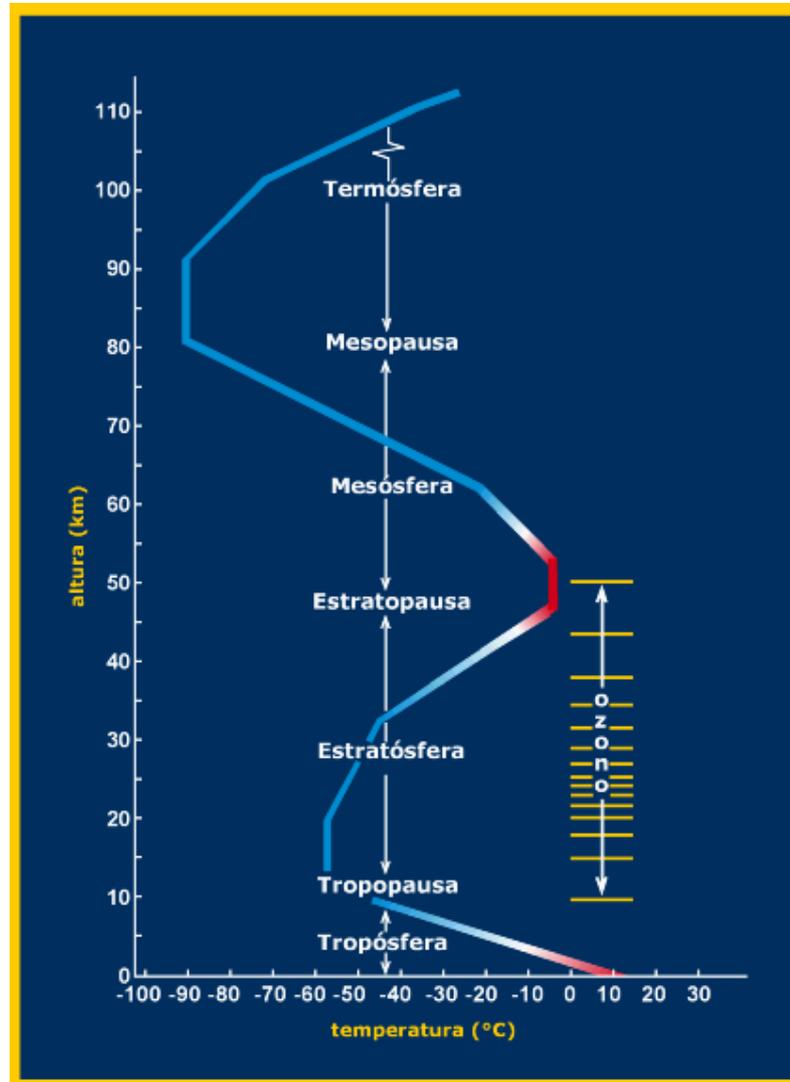


Fig. 2.4 Diagrama general de la atmósfera

La troposfera o baja atmósfera, es la que está en íntimo contacto con la superficie terrestre y se extiende hasta los 11000 m.s.n.m. en promedio. Tiene un grosor que varía desde 8 km en los polos hasta los 16 km en el ecuador, debido a la diferencia energética que existe en esos lugares. La temperatura disminuye con la altura, un promedio de 6.5 °C

por kilómetro. La mayoría de los fenómenos que involucran el clima ocurren en esta capa de la atmósfera, en parte sustentado por procesos convectivos que son establecidos por calentamiento de gases superficiales, que se expanden y ascienden a niveles más altos de la troposfera donde nuevamente se enfrían. Esta capa incluye además los fenómenos biológicos. **La tropopausa**, marca el límite superior de la troposfera, sobre la cual la temperatura se mantiene constante antes de comenzar nuevamente a aumentar por sobre los 20 000 m.s.n.m. Esta condición térmica evita la convección del aire y confina el clima a la troposfera. La capa por sobre la tropopausa en la que la temperatura comienza a ascender se llama **estratosfera**. Una vez que se alcanzan los 50 km de altura, la temperatura ha llegado a los 0 °C. Se extiende desde los 20 km hasta 48 – 50 km.s.n.m. Contiene pequeñas cantidades de los gases de la troposfera en densidades decrecientes proporcionalmente a la altura. Incluye también cantidades bajísimas de Ozono (O₃) que filtran el 99% de los rayos ultravioleta (UV) provenientes de las radiaciones solares. Es esta absorción de UV la que hace ascender la temperatura hasta cerca de los 0 °C. Este perfil de temperaturas permite que la capa sea muy estable y evita turbulencias, algo que caracteriza a la estratosfera. Esta, a su vez, está cubierta por la **estratopausa**, otra inversión térmica a los 50km.

La mesosfera se extiende por encima de los 50 km, la temperatura desciende hasta -100 °C a los 80 km, su límite superior.

Por sobre los 80 km.s.n.m., encima de la mesosfera, se extiende la termosfera. En ella la temperatura asciende continuamente hasta sobre los 1 000 °C.

2.2.2 Composición atmosférica

La atmósfera es una mezcla de varios gases y aerosoles que forma el sistema ambiental integrado con todos sus componentes. Entre sus variadas funciones mantiene condiciones aptas para la vida. Su composición es muy homogénea, resultado de procesos de mezcla y el 50 % de la masa está concentrado por debajo de los 5000 m.s.n.m. Los gases más abundantes son el N₂ y O₂.

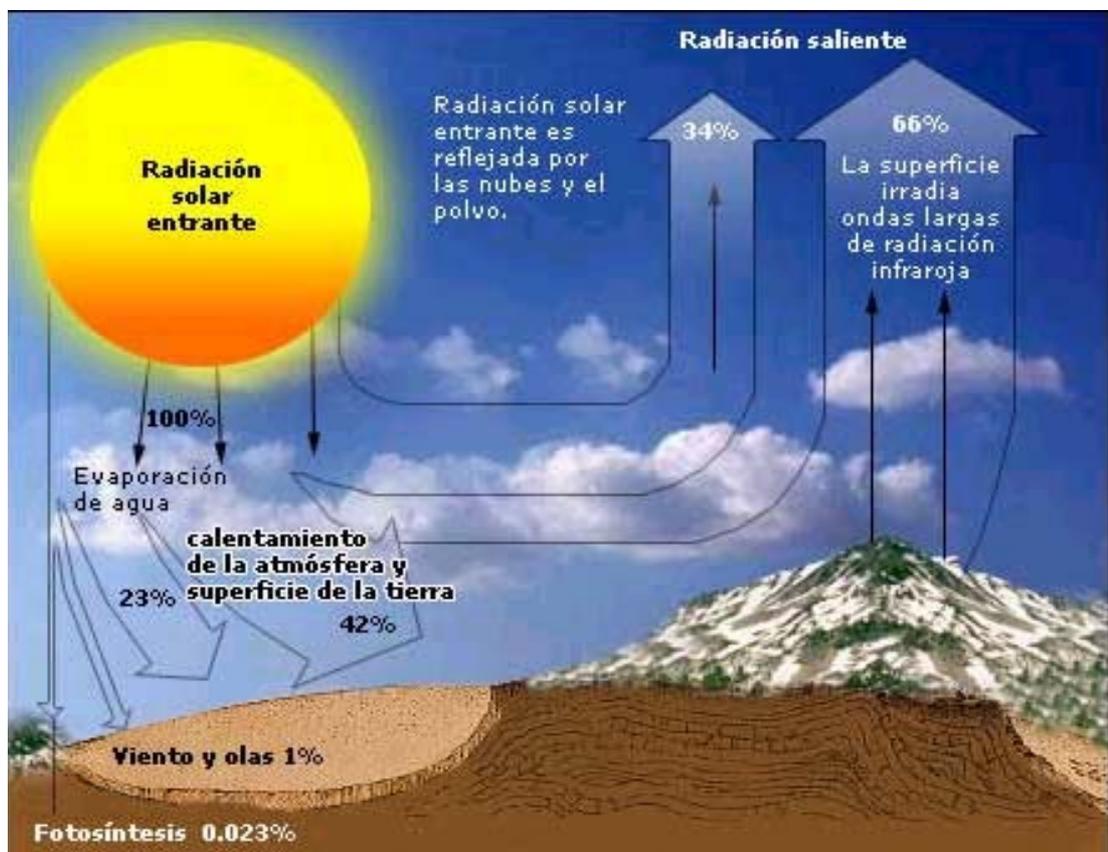


Fig. 2.5 Diagrama de flujos energéticos

Es importante entender que el clima terrestre depende del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra. En esta reirradiación, sumada a la emisión de energía geotectónica, los gases de efecto invernadero juegan un rol crucial. Al analizar los gases atmosféricos, incluidos los gases de efecto invernadero, es importante identificar las fuentes, reservorios y el ciclo de vida de cada uno de ellos, datos cruciales para controlar la contaminación atmosférica. Una fuente es el punto o lugar donde un gas, o contaminante, es emitido es donde entra a la atmósfera. Un reservorio, es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, o por reacciones químicas o absorción en otros componentes del sistema climático, incluyendo océanos, hielos y tierra. El ciclo de vida denota el periodo promedio que una molécula de contaminante se mantiene en la atmósfera. Esto se determina por las velocidades de emisión y captación en reservorios.

Como conclusión la atmósfera está principalmente constituida por nitrógeno, oxígeno, algunos otros gases y aerosoles que regulan el sistema climático, al regular el balance energético entre la radiación solar incidente y la radiación terrestre que se emite. La mayor parte de la atmósfera se encuentra por debajo de los 10 km, en la troposfera, en la que el clima terrestre opera y donde el efecto invernadero posee una forma más notoria. Por encima de ella se encuentran capas que son definidas por sus temperaturas.

2.2.3 Equilibrio energético en la atmósfera

La Tierra recibe energía del Sol en forma de radiación electromagnética, la superficie terrestre recibe radiación ultravioleta (UV) y radiación visible y emite radiación terrestre en forma de radiación infrarroja. Estos dos grandes flujos energéticos deben estar en balance. Pero la atmósfera afecta la naturaleza de este balance. Los gases de efecto invernadero permiten que la radiación de onda corta solar penetre sin impedimento pero absorben la mayor parte de la emisión de ondas largas terrestres. Por ello la temperatura global promedio es de 288 K o 15 °C, 33 grados más alto que si no tuviera atmósfera. Este efecto se llama el "Efecto Invernadero" los flujos de humedad, masa y momentum dentro de la atmósfera y los componentes del sistema climático deben estar en equilibrio. El balance de los flujos determina el estado de los climas y los factores que influyan sobre ellos a escala global deben ser considerados como los causantes del cambio global.

Los Océanos

Existe transferencia de momentum al océano a través de los vientos superficiales, que a su vez movilizan las corrientes oceánicas superficiales globales. Estas corrientes asisten en la transferencia latitudinal de calor, análogamente a lo que realiza la atmósfera. Las aguas cálidas se movilizan hacia los polos y viceversa. La energía también es transferida a través de la evaporación. El agua que se evapora desde la superficie oceánica almacena calor latente que es luego liberado cuando el vapor se condensa formando nubes y precipitaciones.



Fig. 2.6 Los océanos almacenan mucha cantidad de energía que la atmósfera

Lo significativo de los océanos es que almacenan mucha mayor cantidad de energía que la atmósfera. Esto se debe a la mayor capacidad calórica (4.2 veces la de la atmósfera) y a su mayor densidad (1000 veces mayor). La estructura vertical de los océanos puede dividirse en dos capas, que difieren en su escala de interacción con la atmósfera. La capa inferior, que involucra las aguas frías y profundas, compromete el 80 % del volumen oceánico. La capa superior, que está en contacto íntimo con la atmósfera, es la capa de frontera estacional, un volumen mezclado que se extiende sólo hasta los 100 m de profundidad en los trópicos, pero que llega a varios kilómetros en las aguas polares. Esta sola capa almacena 30 veces más energía que la atmósfera. De esta manera, un cambio dado de contenido de calor en el océano redundará en un cambio 30 veces mayor en la atmósfera. Por ello, pequeños cambios en el contenido energético de los océanos pueden tener

un efecto considerable sobre el clima global y claramente sobre la temperatura global. El intercambio de energía también ocurre verticalmente, entre la capa frontera y las aguas profundas. La sal contenida en las aguas marinas se mantiene disuelta en ella al momento de formarse el hielo en los polos, esto aumenta la salinidad del océano. Estas aguas frías y salinas son particularmente densas y se hunden, transportando en ellas considerable cantidad de energía. Para mantener el equilibrio en el flujo de masas de agua existe una circulación global termohalina, que juega un rol muy importante en la regulación del clima global.

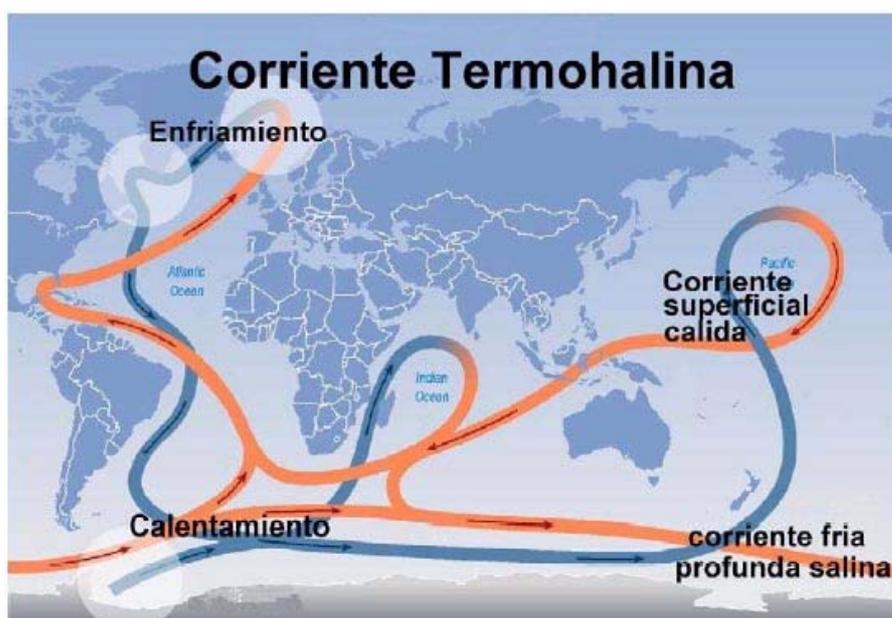


Fig. 2.7 Corriente termohalina

La Criósfera

Consiste de las regiones cubiertas por nieve o hielo, sean tierra o mar. Incluye la Antártica, el Océano Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas. Juega un rol muy importante en la regulación del clima global.

La nieve y el hielo tienen una alta reflexión, por ello, algunas partes de la Antártica reflejan hasta un 90 % de la radiación solar incidente, comparado con el promedio global que es de un 31 %. Sin la criósfera, la reflexión global sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía a nivel de la superficie terrestre y consecuentemente la temperatura atmosférica sería más alta. También tiene un rol en desconectar la atmósfera con los océanos, reduciendo la transferencia de humedad y momentum, y de esta manera, estabiliza las transferencias de energía en la atmósfera. Finalmente, su presencia afecta marcadamente el volumen de los océanos y de los niveles globales del mar.

Biosfera

La vida puede encontrarse en casi cualquier ambiente terrestre. Pero al discutir el sistema climático es conveniente considerar la biosfera como un componente discreto, al igual que la atmósfera, océanos y la criosfera. La biosfera afecta la reflexión de la Tierra, tanto en continente como en océanos. Grandes áreas de bosques continentales tienen baja reflexión comparado con regiones sin vegetación, como los desiertos. La reflexión de un bosque deciduo es de aproximadamente 0.15 a 0.18, mientras que en un bosque de coníferas es de 0.09 a 0.15. Un bosque tropical lluvioso refleja menos aún, entre 0.07 y 0.15. Como comparación, la reflexión de un desierto arenoso es de cerca 0.3. Queda claro que la presencia de bosques afecta el equilibrio energético del sistema climático. Algunos científicos piensan que la quema de combustibles fósiles no es tan desestabilizante como la tala de

bosques y la destrucción de los ecosistemas, que son los que mantienen la producción primaria de los océanos.



Fig. 2.8 Tala de bosques

La biosfera también afecta los flujos de ciertos gases invernadero, tales como el dióxido de carbono y el metano. El plancton de las superficies oceánicas utiliza el dióxido de carbono disuelto para la fotosíntesis. Esto establece un flujo del gas con el océano fijando gas desde la atmósfera. Al morir, el plancton transporta el dióxido de carbono a los fondos oceánicos. Esta productividad primaria reduce en un factor 4 la concentración atmosférica del dióxido de carbono y debilita significativamente el efecto invernadero terrestre natural. Se estima que hasta el 80 % del oxígeno producido por la fotosíntesis es resultado de la acción de las algas oceánicas, especialmente las de áreas costeras. Por ello la contaminación acuática en esos sectores podría ser muy desestabilizante.

La biosfera también afecta la cantidad de aerosoles en la atmósfera. Billones de esporas, virus, bacterias, polen y otras especies orgánicas diminutas son transportadas por los vientos y afectan la radiación solar incidente, influenciando el equilibrio energético global. La productividad primaria oceánica produce compuestos conocidos como dimetilsulfidos, que en la atmósfera se oxidan para formar sulfatos aerosoles que sirven como núcleos de condensación para el vapor de agua, ayudando así a la formación de nubes. Las nubes a su vez, tienen un complejo efecto sobre el equilibrio energético climático. Por lo que cualquier cambio en la productividad primaria de los océanos, puede afectar indirectamente el clima global. Existen muchos otros mecanismos y procesos que afectan y que están acoplados al resto del sistema climático.

Geosfera

Consiste en suelos, sedimentos y rocas de las masas de tierras, corteza continental y oceánica, y en última instancia, el interior mismo de la Tierra. Tienen un rol de influencia sobre el clima global que varía en las escalas temporales. Variaciones en el clima global, que se extienden por decenas y hasta centenas de millones de años, se deben a modulaciones interiores de la Tierra. Los cambios en la forma de las cuencas oceánicas y el tamaño de las cadenas montañosas continentales, influyen en las transferencias energéticas del sistema climático. En escalas mucho menores de tiempo, procesos químicos y físicos afectan ciertas características de los suelos, tales como la disponibilidad de humedad, la escorrentía, y los flujos de gases

invernadero y aerosoles hacia la atmósfera y los océanos. El vulcanismo, aunque es impulsado por el lento movimiento de las placas tectónicas, ocurre regularmente en escalas de tiempo mucho menores. Las erupciones volcánicas agregan dióxido de carbono a la atmósfera que ha sido removida por la biosfera, y emiten grandes cantidades de polvo y aerosoles. Estos procesos explican someramente, como la geosfera puede afectar el sistema climático global.

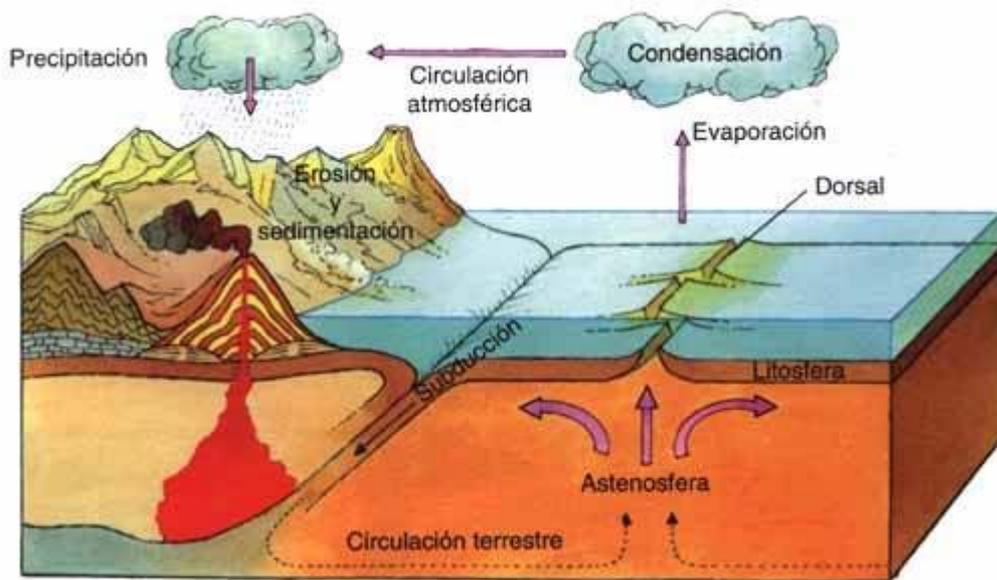


Fig. 2.9 La geosfera

2.3 Efecto Invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del Sol. El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) proveniente del uso de combustibles fósiles ha provocado la intensificación del fenómeno y el consecuente aumento de la temperatura global, el derretimiento de los hielos polares y el aumento del nivel de los océanos. El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2) y el gas metano forman una capa natural en la atmósfera terrestre que retiene parte de la energía proveniente del Sol. El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de las concentraciones de CO_2 y metano, además de otros gases, como el óxido nítrico, que aumentan el efecto invernadero.

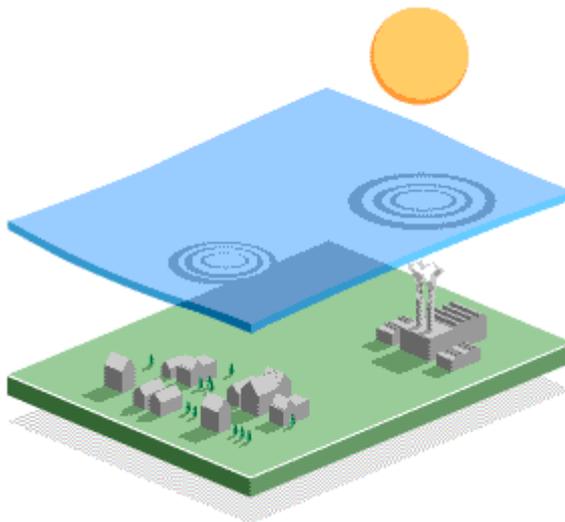


Fig. 2.10 Formación de la capa natural de la atmósfera terrestre

La superficie de la Tierra es calentada por el Sol. Pero ésta no absorbe toda la energía sino que refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.

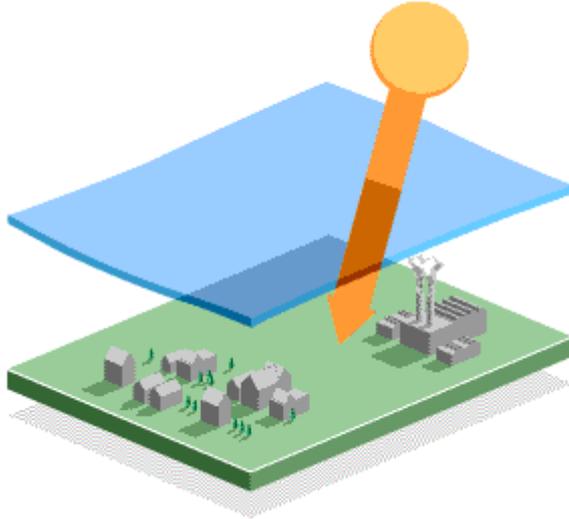


Fig. 2.11 Calentamiento de la tierra por el Sol

Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra es devuelta al espacio. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los gases que producen el efecto invernadero y vuelve a la superficie terrestre.

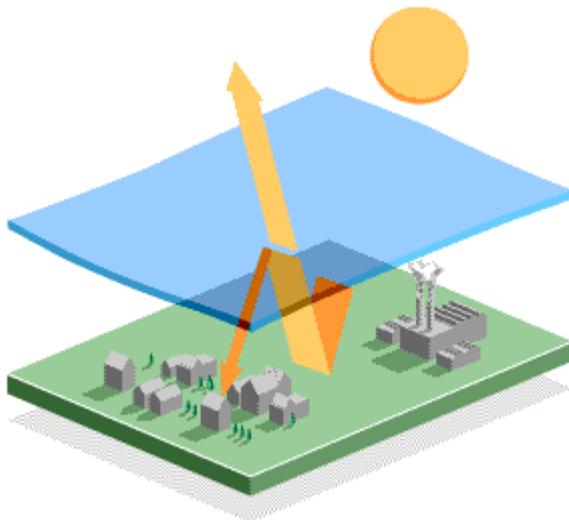


Fig. 2.12 Reflexión y refracción de la energía solar

Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta. De no existir el fenómeno, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede causar graves estragos. En los últimos 100 años la Tierra ha registrado un aumento de entre 0,4 y 0,8°C en su temperatura promedio

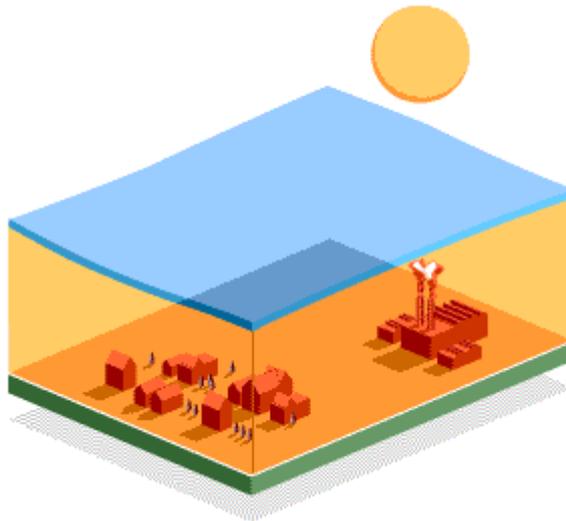


Fig. 2.13 Aumento de la temperatura global

2.4 Impacto en el Mundo

Tenemos en nuestros días un mundo cambiante, sequías, incendios forestales, olas de calor, lluvias torrenciales, inundaciones y tormentas que han sido causa de varias catástrofes en los últimos años.

2.4.1 América Central

En los últimos años, Centroamérica ha sido azotada por una serie de fenómenos climáticos con un alto costo en vidas y daños materiales. El más grave fue el Huracán Mitch, que entre octubre y noviembre de 1998 dejó a su paso una senda de destrucción y muerte. Vientos de entre 170 y 200 km/h y lluvias torrenciales asolaron Nicaragua y Honduras, y más tarde Guatemala, El Salvador y el sur de México. Por lo menos 9000 personas perdieron la vida. La región, que ha seguido sufriendo condiciones climáticas extremas, aún no ha logrado recuperarse de los estragos de Mitch.



Fig. 2.14 El huracán Mitch asola América Central

2.4.2 Venezuela

Diciembre de 1999. Intensas e inusuales lluvias afectan el litoral central, en especial el estado Vargas, aledaño a la capital, Caracas. Aludes de lodo y rocas sepultan a decenas de miles de personas y destruyen la mitad de esa zona turística y portuaria. El saldo: entre 25 000 y 50 000 muertos, 250 000

damnificados y 400 000 afectados o desplazados. Noviembre de 2000.
Vuelven las lluvias torrenciales. La historia puede repetirse.



Fig. 2.15 Lluvias torrenciales en Venezuela

2.4.3 Estados Unidos

A medida que la temperatura aumenta, las sequías y las olas de calor serán cada vez más comunes. En los últimos veranos, EE.UU. registró temperaturas récord, que le costaron la vida a más de 140 personas. La sequía implicó pérdidas de cultivos, así como importantes incendios forestales que arrasaron con miles de hectáreas de bosque en el oeste de ese país.



Fig. 2.16 Ola de calor en Estados Unidos

2.4.4 Antártida

Las temperaturas alrededor de la Antártida han aumentado cinco veces más que el promedio global en los últimos 50 años. Hoy la temperatura promedio es de 2.5 °C mayor que la registrada en 1940. El fenómeno también se ha registrado en el Océano Ártico.



Fig. 2.17 Los hielos Antárticos se derriten

2.4.5 Gran Bretaña

Los meteorólogos predicen que el tipo de tormentas e inundaciones que afectaron a varias zonas de las islas británicas en octubre serán más frecuentes en el futuro. De no tomarse medidas inmediatas para prevenir que zonas bajas sean cubiertas por más desbordamiento de ríos y arroyos, las pérdidas serán multimillonarias.



Fig. 2.18 Inundaciones en Gran Bretaña

2.4.6 Sur de Europa

Los incendios forestales en el sur de Europa y la costa mediterránea causaron estragos el pasado verano. Sólo en Grecia se registraron más de 150 siniestros. Los ambientalistas advierten que la situación empeorará si no se toman medidas para detener el aumento de la temperatura.



Fig. 2.19 Incendios en Europa

2.4.7 Mozambique

Si bien los meteorólogos no creen que el cambio climático haya tenido una relación directa con las recientes inundaciones en el país del sudafricano, la dimensión de la catástrofe en vidas humanas y pérdidas materiales dejó en claro la falta de una infraestructura adecuada para hacer frente a cambios drásticos de las condiciones climáticas.



Fig. 2.20 Inundaciones en Mozambique

2.4.8 Bangladesh

Las tierras bajas de Bangladesh y de las regiones vecinas del sur de Asia están expuestas a inundaciones costeras causadas por tormentas más intensas y frecuentes, que han provocado la muerte de miles de personas en los últimos años. Sólo basta que el nivel de las aguas aumente un metro para que el 17,5% del país quede anegado.



Fig. 2.21 Inundaciones costeras en Bangladesh

2.4.9 Indonesia

Cuando el fenómeno climático de El Niño afectó al archipiélago asiático, causó la peor sequía en medio siglo. Los cultivos de arroz terminaron en ruina y el humo de los incendios forestales causó una crisis de contaminación en varias ciudades del país. Los especialistas afirman que fenómenos climáticos como El Niño podrían ser más frecuentes e intensos como consecuencia del cambio climático.



Fig. 2.22 El niño afecta Indonesia

2.4.10 Australia

El cambio climático también afecta a los arrecifes coralinos y su ecosistema. Un informe del grupo ambientalista Greenpeace predice que la Gran Barrera de Coral de Australia morirá dentro de 30 años si no se adoptan medidas urgentes para contener los efectos del cambio climático, la contaminación y el turismo. Investigaciones recientes indican que las temperaturas por encima de los 29 °C perjudican a los corales y pueden intensificar las concentraciones de toxinas que provocan su decoloración y muerte.



Fig. 2.23 La gran barrera de coral, Australia

2.5 Vulnerabilidad al Cambio Climático en Perú

La vulnerabilidad del Perú frente a las variaciones climáticas extremas se ha evidenciado a través de los años. Esto ha sido tema de diferentes estudios e informes, que abarcan desde el retroceso de los glaciares, hasta los efectos del Fenómeno El Niño en: la salud, la agricultura, el transporte, la infraestructura, entre otros. Estos reportes dan cuenta e inclusive entregan

una valoración económica de los daños en el país; asimismo, manifiestan la urgente necesidad de identificar y ejecutar medidas de adaptación orientadas a reducir la vulnerabilidad del país.

2.5.1 Recursos Hídricos de Alta Montaña

El abastecimiento de agua de muchas ciudades en la costa del país está relacionado a la provisión de agua por los glaciares. De los glaciares tropicales del mundo, los glaciares peruanos son los más altos. Se estima que en 1997 los glaciares del Perú cubrían un área de 1595.6 km². En las imágenes satelitales se observa que en un período de 27 a 35 años, la superficie total de glaciares en el Perú se ha reducido en un 22 %. Entre setiembre de 1997 y mayo de 1998, se realizó una investigación sobre los impactos del cambio climático global en los glaciares de la cordillera peruana, a partir del balance de masas y el inventario de superficies glaciares. En primer lugar, el estudio constató una drástica reducción de las áreas glaciares en los cuatro glaciares estudiados, especialmente en los últimos quince años. En el lapso de los últimos treinta años han ocurrido disminuciones importantes de las superficies glaciares, hasta del orden del 80 %, en las cordilleras pequeñas de Huagoruncho, Huaytapallana, Raura Cordillera Central, entre otras. La hipótesis que actualmente se maneja es que los glaciares con áreas comparativamente pequeñas ubicados debajo de los 5 500 m.s.n.m. desaparecerán antes del 2015 si se mantienen las condiciones climáticas actuales.

Por otro lado, el proceso de desglaciación andina es importante no sólo por el retroceso de los frentes glaciares sino porque promueve la formación de lagunas y glaciares “colgados”, los cuales en algunas ocasiones han producido aluviones de graves consecuencias.



Fig. 2.24 El nevado del Huaytapallana

2.5.2 Los Impactos del Fenómeno El Niño

El Niño es un fenómeno natural que forma parte de la dinámica global del clima a diferencia del cambio climático, pero sus efectos pueden servir como aproximación de los futuros efectos del cambio climático.

Ecosistema marino peruano

El impacto biológico del fenómeno El Niño (EN) sobre la flora y fauna marina se manifiesta a todo nivel: genético, fisiológico y poblacional (distribución o abundancia). Aunque existe incertidumbre sobre los impactos futuros del cambio climático sobre el ecosistema marino, se puede asumir, que al

duplicarse la concentración de CO₂ en la atmósfera, el ecosistema marino costero peruano sufriría un conjunto de alteraciones tales como:

- La elevación del nivel del mar.
- La elevación de la temperatura superficial de las aguas oceánicas frente al Perú (área de El Niño) de unos 3 a 4 °C por encima del promedio actual.
- La intensificación del “stress” del viento y de las surgencias costeras.

Salud pública

El fenómeno El Niño (EN) influye sobre las enfermedades transmitidas por vectores, tales como la malaria; las enfermedades causadas por el uso de agua contaminada a causa del colapso de los servicios de saneamiento básico, como es el caso del cólera; las enfermedades dermatológicas y las enfermedades respiratorias agudas, causadas estas últimas por el deterioro de las viviendas y los cambios de temperatura. Otro efecto observado durante El Niño, pero aún poco descrito, es la hipertermia, que se manifiesta en recién nacidos y personas de edad avanzada.

Agricultura

Los incrementos de temperatura registrados durante el fenómeno El Niño, impactan en el desarrollo vegetativo, en el rendimiento y la sanidad de los cultivos, sean éstos nativos o introducidos. En la región andina el fenómeno se ha caracterizado por originar situaciones de sequía o exceso de precipitación pluvial. En algunos casos esto ha afectado directamente el

desarrollo de los cultivos; pero lo más importante es que las condiciones de sequía favorecieron el desarrollo de las plagas. Las áreas agrícolas perdidas y afectadas a nivel nacional ascendieron a 204 000 ha para la campaña agrícola 1997-1998 (Agosto - Marzo).

Infraestructura

Las mayores afectaciones del Fenómeno el Niño 97-98 se dieron en las ciudades del litoral peruano. Capitales departamentales como: Tumbes, Piura, Chiclayo, Trujillo e Ica, sufrieron inundaciones que causaron severos daños en viviendas y demás infraestructura urbana. Asimismo, algunas ciudades de la sierra como: Cajamarca, Huaraz, Ayacucho y Cuzco fueron afectadas durante este evento. Debido al tipo de efectos que el fenómeno El Niño puede tener en nuestro país, se establecen múltiples relaciones entre los sectores afectados. Considerando estas relaciones se identificó los mayores costos en las actividades económicas tales como la agricultura, la pesca; y en las actividades de servicios como el transporte, salud, asentamientos humanos, la generación de electricidad, educación, y abastecimiento de agua potable y saneamiento. Las pérdidas económicas estimadas para el total de daños en estos sectores ascienden a US\$ 2 500 millones. Es necesario resaltar que los daños por infraestructura significaron más del 80 % del valor total estimado por daños.

CAPÍTULO III

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

3.1 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC)

3.1.1 Introducción

Avanzar en los niveles de: bienestar, desarrollo humano, mantener la estabilidad y el crecimiento económico; supone un importante reto social y tecnológico cuando no se deba interferir sobre el sistema climático en el mundo. Para dar una idea de la preocupación de los países acerca del cambio climático, conviene señalar que en el año **1988** las Naciones Unidas a través de su programa de Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, establecieron un Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), con el objetivo de estudiar científicamente este tema. Este grupo juega un papel muy importante en las actuaciones de los países en este ámbito. Posteriormente, una resolución de las Naciones Unidas de 11 de diciembre de **1990**, crea un Comité Intergubernamental de Negociación con el encargo de elaborar una Convención Marco sobre el Cambio Climático. Este Comité, tras cinco sesiones de negociación, preparó la Convención Marco sobre Cambio Climático, que fue aceptada en Nueva York en mayo de **1992**.

Se abrió el período de firma a partir de junio de ese mismo año, coincidiendo con la celebración en Río de Janeiro de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Durante esta Conferencia, conocida como la "Cumbre de la Tierra", la Convención fue respaldada por la firma de 155 Estados, constituyendo este acto uno de los principales resultados políticos de la Cumbre. La Convención entró en vigor el 21 de marzo de 1994, tres meses después de la ratificación del Estado número 50. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establece, en el Artículo 2, que su objetivo es "lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible".

Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los efectos del cambio climático ya han sido observados, y la mayor parte de los científicos cree necesaria una acción rápida para prevenirlos. Ante esto, la respuesta política internacional al cambio climático comenzó con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) en 1992.

La UNFCCC se basa en los siguientes principios:

- Las partes (o países que la conforman) deben proteger el sistema climático para el beneficio de las generaciones presentes y futuras.
- Las necesidades específicas y las circunstancias particulares de los países en desarrollo.
- Las partes deben tomar medidas que permitan anticipar, prevenir o minimizar las causas del cambio climático.
- Las partes tienen el derecho y el deber de promover el desarrollo sostenible.
- Las partes deben cooperar en la promoción de un sistema económico internacional que contribuya al crecimiento sostenible y el desarrollo de todas las partes.

Tabla 1. Países incluidos en el Anexo I de la Convención Marco sobre el Cambio Climático.

Alemania	Hungría*
Australia	Irlanda
Austria	Irlanda del Norte
Bélgica	Islandia
Bielorrusia*	Italia
Bulgaria*	Japón
Canadá	Letonia*
Comunidad Económica Europea	Lituania*

Checoslovaquia*	Luxemburgo
Dinamarca	Noruega
España	Nueva Zelanda
Estados Unidos de América	Polonia*
Estonia*	Portugal
Federación Rusa*	Reino Unido de Gran Bretaña
Finlandia	Rumania *
Francia	Suecia
Grecia	Suiza
Holanda	Turquía
	Ucrania

* Países en transición a economía de mercado

Fuente: Anexo I de la Convención Marco sobre el Cambio Climático

Asimismo las Partes desarrolladas, incluidas en el Anexo II de la Convención (Tabla 2), proveerán asistencia financiera (incluida la transferencia tecnológica) a las Partes en desarrollo para que éstas puedan cumplir sus obligaciones.

Tabla 2. Países incluidos en el Anexo II de la Convención Marco sobre el Cambio Climático

Alemania	Irlanda
----------	---------

Australia	Islandia
Austria	Italia
Bélgica	Japón
Bulgaria	Luxemburgo
Canadá	Noruega
Comunidad Económica Europea	Nueva Zelanda
Dinamarca	Portugal
España	Reino Unido de Gran Bretaña
Estados Unidos de América	Suecia
Finlandia	Suiza
Francia	Turquía
Grecia	
Holanda	

Fuente: Anexo II de la Convención Marco sobre el Cambio Climático

Finalmente cabe señalar que en el "Tercer Informe de Evaluación" del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) se confirma que, a lo largo del siglo pasado, la temperatura media global en la superficie ha aumentado; además se atribuyen, por primera vez, las causas del calentamiento observado a las actividades humanas. Es decir, sólo considerando la acción del hombre es posible explicar el aumento de temperatura registrada en el Planeta principalmente en la segunda mitad del siglo pasado. Por ello fue necesario establecer acciones vinculantes por

parte de los países para limitar las emisiones de los gases de efecto invernadero, y ello fue desarrollado en el Protocolo de Kyoto. (CoP.3).

3.2 El Protocolo de Kyoto

Un protocolo es un acuerdo internacional autónomo que está vinculado a un tratado ya existente. En este caso el Protocolo de Kyoto comparte las preocupaciones y los principios establecidos en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, pero establece asimismo compromisos más concretos y detallados que los estipulados en la CMNUCC. Con el objetivo de poner en práctica los principios de la UNFCCC, se realizan anualmente reuniones para discutir y tomar decisiones. Estas reuniones se llaman Conferencias de las Partes (CoPs). En diciembre de 1997, durante la CoP-3, realizada en Kyoto, Japón, se acordó el Protocolo de Kyoto, que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado a alcanzar objetivos cuantificables de reducción de emisiones.

Estos países, conocidos en la UNFCCC como Partes Anexo I, se comprometieron a reducir su emisión total de seis gases de efecto invernadero hasta al menos 5.2 por ciento por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el periodo 2008-2012 (el primer periodo de compromiso), con objetivos específicos que varían de país en país.

El PK también estableció tres mecanismos para asistir a las Partes del Anexo I en lograr sus objetivos nacionales de un modo costo-efectivo:

- Al comercio de emisiones entre países desarrollados.

- El Mecanismo de Implementación Conjunta (IC).
- El tercero, llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Después de la CoP.3 de Kyoto de 1997, la comunidad internacional trabajó intensamente para lograr un consenso sobre normas complementarias que facilitasen la implantación del PK. Un resumen de los acuerdos más importantes alcanzados hasta diciembre de 2004, en este proceso negociador, es el siguiente:

- En 1998, en la CoP.4 de Buenos Aires, se establece un plan que relaciona los temas que deben ser acordados para aplicarse el PK. Este acuerdo se conoce como “El Plan de Acción de Buenos Aires”.
- En 1999, en la CoP.5 realizada en Bonn, se siguen negociando los temas del citado Plan de Buenos Aires y la Unión Europea anuncia su objetivo político de ratificar el Protocolo de Kyoto en el 2002.
- En 2000, en la CoP.6 de Bonn, se alcanza un Acuerdo Político sobre temas clave de la implantación del PK, como son los aspectos financieros a tener en cuenta en los mecanismos de flexibilidad y el régimen para su cumplimiento, los sumideros, etc. Son los elementos principales del Plan de Acción de Buenos Aires, y se tendrán en cuenta posteriormente.
- En 2001, en la CoP.7 de Marrakech, se traslada el Acuerdo Político adoptado en Bonn a decisiones legales jurídicamente vinculantes. Son conocidas como los Acuerdos de Marrakech, que hicieron posible que las Partes de la Convención pudieran iniciar sus respectivos procesos de ratificación. En ellos, se desarrolla la normativa de los mecanismos de flexibilidad formada por cuatro Decisiones: una, común, sobre el ámbito y los

principios generales de estos mecanismos (decisión 15 de la CoP.7) y otras tres, relativas a las reglas de funcionamiento de los mecanismos de Aplicación Conjunta (decisión 16 de la CoP.7), Mecanismos de Desarrollo Limpio (decisión 17 de la CoP.7) y Comercio de Emisiones (decisión 18 de la CoP 7)

- En 2002, en la CoP.8 de Nueva Delhi, se producen avances significativos en aspectos técnicos sobre el Mecanismo de Desarrollo Limpio y su Junta Ejecutiva, así como algunas características de los sumideros de carbono o el tipo de metodologías que pueden ser utilizadas. Otro resultado de esta CoP fue la aprobación de la declaración de Delhi sobre Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, donde se reafirma que el desarrollo y la erradicación de la pobreza son temas prioritarios para los países menos desarrollados, que deben compatibilizarse con la aplicación de los compromisos recogidos en la Convención.

- En 2003, en la CoP.9 de Milán, se desarrollan modalidades y procedimientos para la inclusión de la forestación y reforestación en el MDL, que como es sabido, son proyectos que tienen características muy específicas.

- En diciembre de 2004, se celebró la CoP.10 en la ciudad de Buenos Aires. Se establecieron tres decisiones importantes en el ámbito del MDL: nuevos criterios relativos a procedimientos de este tipo de proyectos, diseño de la información precisa en proyectos de forestación y reforestación, y modalidades y procedimientos para los proyectos de sumideros de carbono

de pequeña escala. Se dio, además, un fuerte apoyo al fortalecimiento de la Junta Ejecutiva del MDL.

Cabe señalar que el Protocolo de Kyoto establecía su entrada en vigor “el nonagésimo día contado desde la fecha en que hayan depositado sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión no menos de cincuenta y cinco Partes en la Convención, entre las que se cuenten Partes del Anexo I cuyas emisiones totales representen, por lo menos, el 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de las Partes del Anexo I correspondiente a 1990”. Por lo tanto, para que el PK entrase en vigor, era preciso que lo ratificasen al menos cincuenta y cinco países, y que éstos sean responsables del 55% de las emisiones del año base.

En noviembre de 2004, 145 Partes habían ratificado el Protocolo, incluyendo países industrializados que contribuían con un 61.6% de las emisiones. **Por ello el 16 de febrero de 2005, el PK ha entrado en vigor.**

3.2.1 Gases de efecto invernadero

El efecto causado por la emisión de GEI a la atmósfera es medido por el **índice de poder de calentamiento global** (GWP). Los GEI considerados en el PK a los cuales se les atribuye mayor responsabilidad en el incremento de la temperatura global y son seis.

Los tres gases más encontrados en la naturaleza son:

- El dióxido de carbono (CO₂) que tiene un GWP igual a 1.
- El metano (CH₄) que tiene un GWP igual a 21.
- El óxido nitroso (N₂O) que tiene un GWP igual a 310.

Tres gases que resultan principalmente de la ingeniería química.

- Los hidrofluorocarbonados (HFC) que tiene un GWP igual a 1300.
- Los perfluorocarbonados (PFC) que tiene un GWP entre 6500 a 9200.
- El hexafluoruro de azufre (SF_6) que tiene un GWP igual a 22000.

3.2.2 Actividades que producen gases de efecto invernadero

Los sectores y actividades en el Mundo responsables de las mayores emisiones de gases de efecto invernadero se encuentran listados en el Anexo A del Protocolo de Kyoto, los cuales mostramos a continuación:

Energía: CO_2 - CH_4 - N_2O

Quema de combustibles, generación de energía, industrias de manufactura, construcción, transporte, combustibles sólidos (petróleo y gas natural), otros.

Procesos Industriales: CO_2 - N_2O -HFC-PFC- SF_6

Productos minerales, industria química, producción metálica, producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre, uso de solventes, otros.

Agricultura: CH_4 - N_2O

Fermentación entérica, manejo de residuos de ganaderos, cultivo de arroz, suelos agrícolas, quema de campos y de residuos agrícolas, otros.

Residuos: CH_4

Disposición de residuos sólidos, manejo de aguas residuales, incineración de basura, otros.

3.2.3 Posible escenario para el 2010

A continuación mostramos una proyección de los países que conforman el Anexo B del Protocolo de Kyoto y su posible posición en un escenario para el 2010, como compradores o vendedores de créditos de carbono.

Posibles Compradores:

Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Rumania, España, Suecia, Suiza.

Posibles Vendedores:

Bulgaria, República Checa, Hungría, Polonia, Rusia, Eslovaquia, Ucrania, Reino Unido.

Como dato interesante, los países compradores, necesitarán adquirir alrededor de 1,020 millones de tCO₂e durante cada uno de los cinco años de compromiso. Esto no incluye a los Estados Unidos, que no ha ratificado el Protocolo a pesar de que necesitaría comprar el doble de lo que compran todos los países del Anexo B juntos.

3.3 Mercados de Carbono

Según una investigación del Banco Mundial, se puede decir que no existe un solo mercado de carbono, definido por un solo producto, un solo tipo de contrato o un sistema único de compradores y vendedores. Lo que llamamos “mercado de carbono” es un conjunto de transacciones en el que se **intercambian cantidades de reducciones de emisiones** de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, la información es limitada,

especialmente aquella relativa a los precios, ya que no hay una cámara central de compensación para las transacciones de carbón.

Durante el periodo 2005 - 2007, la penalización por cada tonelada de CO₂ emitida por encima de la cantidad de derechos en poder de la instalación será de 40 euros, y a partir del 2008 ascenderá a 100 euros por tonelada de CO₂. Esta penalización no exime al emisor de presentar a las autoridades la cantidad de derechos faltantes.

Según Point Carbon, se espera que el mercado de emisiones alcance un tamaño de entre 4.200 y 7.400 millones de euros para el 2007.

3.3.1 Mercados de Carbono en el ámbito mundial

Los mercados de Carbono en el ámbito mundial podemos dividirlos en:

Mercados Kyoto

Gobiernos - Esquemas establecidos por los gobiernos para poder cumplir con los compromisos de Kyoto.

Entidades Internacionales - Entidades Internacionales que han incursionado en el mercado de carbono con el encargo de comprar reducción de emisiones para los países que aportan los fondos que administran.

Entre los más importantes tenemos:

- Financiamiento de carbono del Banco Mundial (World Bank Carbon Finance)
- Otros Fondos de Carbono destinados a la compra de CER
- Programa Latinoamericano de Carbono (PLAC)
- Fondo Holandés de la Corporación Internacional Financiera (INcaF)

- Fondo de Carbono de la KfW
- CERUPT
- Fondo de Carbono Japonés
- The European Carbon Fund

Brokers - Desarrolladores de mercado, incluyen brokers, traders, entidades financieras, consultores e instituciones auditoras, que están creciendo en número y tamaño, firmas de corretaje como NatSource, CO₂e.com ,MGM Internacional, y EcoSecurities.

Mercado no Kyoto

Mercados Voluntarios

Corporaciones- Empresas de gran tamaño como ABB, Dupont, Entergy, IBM, Shell, Ontario Power Generation, Toyota de los Unidos, Marubeni, United Technologies Corp., TransAlta, entre otras, se han comprometido de manera voluntaria a alcanzar metas de reducción y dan la bienvenida al mercado de carbono para cumplir estos compromisos

Iniciativas federales y estatales de Los Estados Unidos - El Gobierno Federal de los Estados Unidos, a través de la administración de George W. Bush, ha presentado una alternativa al PK para reducir emisiones, estados como Massachussets, California, Nueva Jersey y otros.

3.4 Principios de Proyectos MDL

3.4.1 Conceptos de Proyecto MDL

El artículo 12 del Protocolo de Kyoto define el mecanismo de desarrollo limpio en los siguientes términos: “El propósito del MDL es ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo I de la Convención Marco y en el Anexo B del Protocolo de Kyoto, a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones.” El mecanismo de desarrollo limpio constituye, junto con el mecanismo de aplicación conjunta (AC) y el comercio internacional de emisiones los denominados mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto. El propósito de los tres mecanismos es poner a disposición de las Partes del PK instrumentos de mercado que puedan facilitar el cumplimiento de los objetivos de reducción asumidos por los Países Anexo I, al proporcionar una disminución en los costes de su cumplimiento. El fundamento ambiental de los mecanismos reside en el hecho de que el cambio climático es un problema de carácter global; por ello, el objetivo de la Convención y del Protocolo es alcanzar unas reducciones de los niveles globales de GEI en la atmósfera, siendo indistinto el conseguir las reducciones en uno u otro país.

En aplicación de esta teoría, el MDL se ha considerado prioritario por su contribución no sólo a los objetivos generales de mitigación de los efectos del cambio climático, sino al desarrollo sostenible de los países donde se ubican este tipo de proyectos.

A través del mecanismo de desarrollo limpio, un País del Anexo I que tiene compromisos cuantificados de reducción o limitación de sus emisiones de GEI, puede desarrollar proyectos que contribuyan a reducir las emisiones en países en desarrollo que no tienen objetivos en la reducción de estas emisiones. Por la realización de estos proyectos, el país recibe una cantidad de reducciones certificadas igual a la cantidad de gases reducida por los mismos, pudiendo utilizar estos certificados a efectos de contabilizar el cumplimiento de sus objetivos.

De este modo, ambas Partes obtienen los siguientes beneficios:

- Las Partes no Anexo I se benefician de una transferencia tecnológica mediante actividades de proyectos que tengan por resultado certificados de emisiones reducidas (CERs), y que contribuyen a su desarrollo sostenible.
- Las Partes Anexo I pueden utilizar las CERs generadas en los proyectos MDL, para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos de reducción o limitación de emisiones de GEI asumidos al ratificar el Protocolo de Kyoto.

Junto con la argumentación ambiental, existe otra de índole económico que justifica la existencia de este mecanismo, ya que los costes marginales de reducción de emisiones en los países en desarrollo son bastante menores que los costes de reducción en los países desarrollados.

El MDL se rige por un Acuerdo Político alcanzado en Bonn en la segunda parte de la Sexta Conferencia de las Partes, y por unas normas aprobadas en la Séptima Conferencia de las Partes celebrada en Marrakech en el año 2001 (Acuerdos de Marrakech, Decisión 17 de la CoP 7)

Así, con el fin de controlar la integridad ambiental, económica y social del mecanismo, existen condicionantes estrictos para todos los participantes en los proyectos y una estructura que supervisa su funcionamiento.

3.4.2 Actores y funciones que desarrollan

Para que pueda llevarse a cabo un proyecto MDL es necesaria la intervención de varios actores con unas funciones claramente definidas, debiendo cumplirse los denominados requisitos de elegibilidad.

Los principales actores del MDL y las funciones que deben desarrollar se exponen a continuación.

Participantes del proyecto (PP)

Pueden promover proyectos MDL las Partes incluidas en el Anexo B del Protocolo de Kyoto y entidades privadas y/o públicas autorizadas por la Parte correspondiente y participando bajo su responsabilidad. Las entidades privadas y/o públicas sólo pueden transferir y adquirir certificaciones provenientes del MDL, si la Parte que da la autorización cumple con todos los requisitos de elegibilidad.

En su reunión decimoctava, la Junta Ejecutiva del MDL acordó que el registro de una actividad de proyecto puede realizarse sin que participe una Parte del Anexo I, figura conocida como MDL unilateral. Sin embargo, para poder adquirir CERs provenientes de proyectos unilaterales, las Partes Anexo I tienen que enviar a la Junta Ejecutiva una carta de aprobación expedida por su Autoridad Nacional Designada. Esta carta es necesaria para

que la Junta dé la orden al administrador del registro de transferir las CERs correspondientes a la cuenta del país Anexo I.

Por participantes en el contexto de esta guía (PP) se entiende aquellas entidades públicas o privadas que promueven e implementan un proyecto MDL.

Autoridad Nacional Designada (AND)

Para poder participar en el MDL las Partes involucradas tienen que haber nombrado una Autoridad Nacional Designada (AND), que estará encargada de dar la aprobación a este tipo de proyectos. Las AND son responsables igualmente de autorizar la participación voluntaria de entidades privadas o públicas en el MDL. Esta figura fue regulada en los Acuerdos de Marrakech en la decisión 17 de la CoP 7, y es un actor esencial en cada uno de los países que participen en los proyectos del MDL. En algunos países, la AND se ha hecho cargo además de otras tareas como son, la preselección de proyectos, orientación a los promotores, formación, mantenimiento de un registro, etc.

Hasta la fecha (abril 2005) hay establecidas 78 Autoridades Nacionales Designadas que pueden encontrarse en la página

web: <http://cdm.unfccc.int/DNA>

Para nuestro país la Autoridad Nacional del MDL - Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)

Entidad Operacional Designada (EOD)

Una Entidad Operacional Designada es una entidad independiente acreditada por la Junta Ejecutiva del MDL (JE) y designada por la

Conferencia de las Partes para realizar la validación de proyectos MDL y su presentación a la JE para aprobación y registro, así como también para la verificación y certificación de las reducciones de emisiones de GEI que generen los proyectos. Salvo en el caso de proyectos de pequeña escala, una misma EOD no puede realizar la validación, y la verificación y certificación en un mismo proyecto.

Las EOD deben, por tanto, cumplir con las siguientes funciones:

- Validar las actividades de los proyectos MDL propuestos.
- Verificar y certificar las reducciones de emisiones antropógenas de GEI.
- Demostrar que tanto ellas como sus empresas subcontratistas, no tienen un conflicto de intereses (real o potencial) con los participantes en las actividades de proyectos MDL, para cuya validación, o verificación y certificación hayan sido seleccionadas.
- Cumplir adecuadamente con una de las funciones relacionadas con las actividades del proyecto MDL propuesto: validación, o verificación y certificación. Cuando así se solicite, la Junta Ejecutiva podrá, sin embargo, autorizar que una sola Entidad Operacional Designada cumpla todas las funciones relativas a una misma actividad de un proyecto MDL.
- Llevar una lista pública de todas las actividades de proyectos MDL de cuya validación y/o verificación y certificación se hayan responsabilizado.
- Presentar un informe anual de sus actividades a la Junta Ejecutiva.
- Poner a disposición pública la información obtenida de los participantes en proyectos MDL, cuando así se lo solicite la Junta Ejecutiva.

Además las EOD pueden presentar nuevas metodologías a la Junta Ejecutiva. Al solicitar su acreditación como EOD deben especificar en qué tipos de proyectos o actividades tienen capacidad de trabajar, escogiendo de entre una lista de sectores previamente definida que se basa en los sectores y fuentes contenidas en el Anexo A del Protocolo de Kyoto

1. Industrias energéticas (fuentes renovables y no renovables)
2. Distribución de energía
3. Demanda de energía
4. Industrias manufactureras
5. Industria química
6. Construcción
7. Transporte
8. Minería y producción de minerales
9. Producción de metales
10. Emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, fuel y gas)
11. Emisiones fugitivas de la producción y consumo de halocarburos y SF6
12. Uso de disolventes
13. Gestión y almacenamiento de residuos
14. Forestación y reforestación
15. Agricultura

Para poder acreditarse, estas entidades deben solicitarlo y pasar por un proceso complejo en el que deben quedar demostradas sus habilidades y capacidad de gestión y auditoría en los ámbitos de trabajo elegidos. Los aspectos relativos a la acreditación de EODs se tratan por un grupo de

trabajo dependiente de la Junta Ejecutiva denominado Panel de Acreditación.

En Mayo de 2005 hay acreditadas y provisionalmente designadas 8 Entidades Operacionales Designadas que pueden encontrarse en la página web: <http://cdm.unfccc.int/DOE/list>.

Junta Ejecutiva (JE)

La Junta Ejecutiva (JE) es el órgano encargado de la supervisión del funcionamiento del mecanismo MDL, y está sujeta a la autoridad de la Conferencia de las Partes (CoP), en calidad de Reunión de las Partes (RP) del Protocolo de Kyoto. La Junta Ejecutiva está integrada por diez miembros procedentes de Partes del Protocolo de Kyoto, de la siguiente manera:

- Un miembro de cada uno de los cinco grupos regionales de Naciones Unidas.
- Dos miembros procedentes de Partes incluidas en el Anexo I.
- Dos miembros procedentes de Partes no incluidas en el Anexo I.
- Un miembro en representación de los pequeños Estados insulares en desarrollo.

La Junta Ejecutiva tiene un Reglamento para su funcionamiento (FCCC/CoP/2002/7/Add.3, página 5, Anexo 1), que fue aprobado en su día por la CoP, cumpliendo esencialmente las siguientes funciones:

- Formular recomendaciones a la CoP/RP sobre nuevas modalidades y procedimientos del MDL, así como las enmiendas a su Reglamento que considere procedentes.

- Informar a la CoP/RP de sus actividades en cada período de sesiones de este órgano.
- Aprobar nuevas metodologías relacionadas, entre otras, con las bases de referencia, los planes de vigilancia y los ámbitos de actuación de los proyectos.
- Acreditar a las entidades operacionales designadas (EOD), formulando las recomendaciones precisas a la CoP/RP para su designación como EOD.
- Informar a la CoP/RP sobre la distribución regional y subregional de las actividades de proyectos del MDL, con vistas a identificar los obstáculos sistemáticos o sistémicos que se oponen a su distribución equitativa.
- Poner a información pública las actividades de proyectos MDL que necesiten financiación, así como las entidades que buscan oportunidades de inversión, a fin de ayudar a conseguir fondos para la ejecución de proyectos acogidos a este mecanismo.
- Preparar y mantener a disposición pública una recopilación de las reglas, procedimientos, metodologías y normativas vigentes.
- Preparar y gestionar un registro de todos los proyectos MDL.
- Preparar y mantener a disposición del público una base de datos sobre las actividades de proyectos MDL, con información sobre los proyectos registrados, las observaciones recibidas, los informes de verificación, sus decisiones y todas las reducciones certificadas de emisión expedidas.
- Examinar el cumplimiento de las modalidades y procedimientos del MDL por parte de los participantes en los proyectos y/o las entidades operacionales responsables, e informar a este respecto a la CoP/RP.

Para llevar a cabo algunas de estas funciones la Junta Ejecutiva puede establecer comités, paneles o grupos de trabajo que le den apoyo. Hasta la fecha la Junta ha establecido las siguientes estructuras de trabajo:

- Panel de Acreditación: establecido para dar soporte a la Junta Ejecutiva y facilitarle la toma de decisiones relativas al procedimiento de acreditación de Entidades Operacionales Designadas
- Panel de Metodologías: establecido para elaborar y dar recomendaciones a la Junta Ejecutiva sobre las directrices para las metodologías de líneas base y planes de monitorización o vigilancia y sobre las nuevas metodologías que se presenten.
- Grupo de trabajo sobre forestación y reforestación: trabaja elaborando recomendaciones sobre las metodologías de líneas base y monitorización que se presenten para actividades de proyectos de forestación y reforestación.
- Grupo de trabajo de pequeña escala: trabaja elaborando recomendaciones sobre las metodologías de líneas base y monitorización que se presenten para actividades de proyectos de pequeña escala.

País anfitrión

El País anfitrión es aquella Parte del Protocolo de Kyoto no incluida en el Anexo I de la Convención en la que se implanta un proyecto MDL. Debe tener establecida una Autoridad Nacional Designada a efectos de su participación en el mecanismo.

El País anfitrión tiene la potestad de aprobar el proyecto MDL, en función de su contribución al modelo de desarrollo sostenible que soberanamente ha escogido, y a tal fin debe emitir una declaración acorde.

De los anteriores apartados puede deducirse que cada uno de los actores que intervienen en un proyecto MDL, tiene funciones claramente diferenciadas a lo largo de su ciclo de aprobación.

3.4.3 Requisitos de elegibilidad que deben cumplirse en el MDL

Como ya se ha mencionado anteriormente, para que pueda desarrollarse un proyecto MDL, tanto las tecnologías o actividades comprendidas como los actores involucrados en el mismo, deben cumplir con una serie de requisitos básicos de participación a lo largo de todo el ciclo de proyecto.

De este modo, los acuerdos de Marrakech establecen específicamente que los participantes del proyecto pueden recibir o transferir reducciones certificadas de emisiones, siempre y cuando el país que autorice su participación sea parte del protocolo de Kyoto y esté en conformidad con sus obligaciones.

A continuación se resumen estos condicionantes que deben satisfacer las Partes del Protocolo de Kyoto que participen en el proyecto, así como los criterios básicos que deben cumplirse por parte del propio proyecto.

País anfitrión

La Parte anfitrión en donde se implanta el proyecto MDL debe cumplir necesariamente los requisitos siguientes:

- Haber ratificado el Protocolo de Kyoto
- Participar voluntariamente en la actividad del proyecto MDL (tanto el país participante como las entidades privadas o públicas autorizadas por él).
- Tener establecida una Autoridad Nacional Designada para el MDL.

País incluido en el Anexo I

En el caso de participación en el proyecto de Países Anexo 1 se requieren cumplir, además de con los condicionantes a que se hace referencia en el apartado País Anfitrión, los siguientes requisitos:

- Haber calculado su Cantidad Atribuida, lo que supone tener fijado en términos de toneladas equivalentes de CO₂ el objetivo asumido por ese país en la ratificación del Protocolo de Kyoto, teniendo fijado, por tanto, su tope cuantitativo de emisiones para el primer periodo de compromiso
- Haber establecido un Registro Nacional en el cual se lleva la cuenta de todas las unidades generadas, asignadas y transferidas en el marco del Protocolo de Kyoto. A este registro será al que se lleven por parte de la Junta Ejecutiva, las RCE generadas por el proyecto MDL.
- Disponer de un Sistema Nacional para la estimación de emisiones
- Haber entregado, en su debido tiempo, el último y más reciente inventario de emisiones

El propio Proyecto

En cuanto a los proyectos en sí mismos, ni el Protocolo de Kyoto en su artículo 12 ni los Acuerdos de Marrakech, proporcionan una lista de

actividades o tecnologías que califiquen a los mismos como MDL. No se establece, por tanto, un listado de tecnologías que puedan optar a participar en el mecanismo, sino que existen unos criterios básicos que deben cumplir, independientemente de la tecnología o actividad de la que se trate. Estos criterios básicos pueden resumirse de la siguiente forma:

- Los Proyectos MDL deben generar reducciones de emisiones de GEI en un país en desarrollo que sean reales, mensurables y a largo plazo.
- La delimitación del proyecto definirá el ámbito en el cual ocurre la reducción o secuestro de los gases de efecto invernadero.
- Las reducciones de emisiones de GEI generadas en el proyecto deben ser adicionales.

Este es un requisito básico para cualquier proyecto MDL. Para ser consideradas adicionales, sus emisiones de GEI deben ser menores que las emisiones que hubieran ocurrido en ausencia del mismo; además, debe demostrarse que el proyecto no se habría implementado en ausencia del mecanismo MDL.

Las reducciones adicionales de GEI serán calculadas en relación con un escenario referencial hipotético que no incluye el proyecto y teniendo las siguientes consideraciones:

- Los proyectos MDL deben contribuir al desarrollo sostenible del País anfitrión. El Protocolo de Kyoto especifica que uno de los principales objetivos del mecanismo MDL es la contribución al desarrollo sostenible de las Partes no Anexo 1. Sin embargo, no existen directrices claras para la aplicación de este requisito, sino que los Países anfitriones son soberanos

para elegir el modelo de desarrollo sostenible que han de seguir y, por tanto, basta con una declaración por su parte en el sentido de que efectivamente la tecnología o actividad propuesta realiza dicha contribución.

Numerosos Gobiernos y entidades internacionales han trabajado desde hace tiempo en la elaboración de indicadores que pudieran medir la senda que debe seguir un país, para que mayoritariamente se entienda por desarrollo sostenible. Esto podría orientar a los participantes del proyecto sobre el tipo de tecnologías que en cada caso realizan esta aportación.

Varios países Latinoamericanos han elaborado procedimientos claros y transparentes que evalúan la contribución de un proyecto a su modelo de desarrollo sostenible facilitando la labor a los participantes del proyecto. Aunque la contribución al desarrollo sostenible de un proyecto MDL pertenece a la soberanía de cada país, puede decirse que se aplican generalmente criterios como los siguientes:

- Criterios sociales: como la contribución del proyecto a la mejora la calidad de vida y a las condiciones de salud de la población, a la disminución de la pobreza y a una mayor equidad entre sus habitantes.
- Criterios económicos: como la aportación del proyecto a los ingresos de entidades locales, la creación de un impacto positivo sobre la balanza de pagos del País anfitrión o a la realización de transferencias tecnológicas.
- Criterios ambientales: como la reducción de emisiones atmosféricas, la conservación de los recursos naturales locales y de la biodiversidad o la contribución a la puesta en práctica de políticas medioambientales.

- Los proyectos deben de ser compatibles con cualquier requisito legal del País anfitrión
- Las Partes deben evitar los certificados generados por proyectos que utilicen la energía nuclear.
- No podrán utilizarse fondos provenientes de la Ayuda Oficial al Desarrollo para financiar proyectos MDL.
- Por último, y aunque no se trata de un requisito básico para la elegibilidad del proyecto, se debe promover una distribución geográfica equitativa de las actividades de estos proyectos para conseguir un desarrollo limpio en los ámbitos regional y subregional, aspecto que es vigilado por la Junta Ejecutiva.

3.4.4 Calendario de implantación del MDL

La Conferencia de las Partes acordó llevar a cabo lo que se ha denominado “prompt start” del MDL, o comienzo temprano, con lo que se dio pie a un comienzo de este mecanismo independientemente de la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, que finalmente se produjo el 16 de febrero de 2005. De este modo, podemos decir que el mecanismo está plenamente operativo, habiéndose aprobado hasta mayo de 2005 varias metodologías para el cálculo de la base de referencia. En diciembre de 2004 se registró el primer proyecto MDL, ubicado en Brasil.

Así, los proyectos iniciados a partir del año 2000 podrán ser validados y registrados como proyectos MDL si se solicita su registro antes del 31 de diciembre de 2005, pudiendo utilizarse las reducciones certificadas de

emisiones que se obtengan para contribuir al cumplimiento en el primer periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto (2008 a 2012).

3.4.5 Los Certificados de Emisiones Reducidas (CERs)

Las Reducciones Certificadas de las Emisiones (CER) son unidades expedidas de conformidad con el artículo 12 del PK y los requisitos que contiene, así como con las disposiciones pertinentes de esas modalidades y procedimientos. Un CER corresponde a una tonelada de dióxido de carbono equivalente, calculado usando los potenciales de calentamiento atmosférico definidos en la Decisión 2 de la CoP.3, con las modificaciones que posteriormente puedan ser objeto, de conformidad con el artículo 5 del PK.

Estas unidades son intercambiables con las demás unidades que generan los distintos compromisos y mecanismos del Protocolo de Kyoto, pudiendo utilizarse las mismas para justificar una parte el cumplimiento de los compromisos cuantitativos de reducción o limitación de gases de efecto invernadero de las Partes Anexo I o pudiendo comerciar con ellas en el comercio internacional de emisiones establecido por el artículo 17 del Protocolo de Kyoto.

3.5 Etapas de un Proyecto MDL

En un proyecto MDL se distinguen siete etapas:

1) Diseño:

Los participantes (PP) deberán evaluar la actividad de proyecto propuesta y los requisitos de elegibilidad. El Documento de diseño de Proyecto (DDP)

incluirá la metodología y determinación de la base de referencia, el cálculo de la reducción de emisiones, y la metodología y plan de vigilancia de la actividad del proyecto.

2) Validación:

Evaluación independiente del diseño por una Entidad Operacional Designada (EOD), en relación con los requisitos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

3) Registro:

Aceptación oficial por la Junta Ejecutiva (JE) de un proyecto validado como proyecto MDL.

4) Implementación del diseño (PP).

5) Vigilancia:

La vigilancia incluye la recopilación y archivo de todos los datos necesarios para medir o estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del proyecto MDL, de la base de referencia y cálculo de las reducciones de emisiones debidas al proyecto (PP).

6) Verificación y certificación:

La verificación consiste en un examen independiente y periódico por una EOD de las reducciones de emisiones registradas unida a la certificación escrita de la EOD confirmando las reducciones de emisiones durante un tiempo determinado.

7) Expedición de las reducciones certificadas de emisiones (CER) por la Junta Ejecutiva del MDL.

3.6 Diseño

El documento de diseño del proyecto (DDP) presenta su diseño, tanto en los aspectos técnicos como organizativos, y constituye la principal aportación a las etapas de validación y registro del proyecto MDL, y también a la verificación de la reducción de emisiones antropogénicas de GEI.

El contenido del DDP debe incluir la información requerida y para ello, debe adoptar, a partir del 1 de Julio de 2004, el formato establecido por la Junta Ejecutiva en “Project Design Document Form”

De conformidad con el MDL, el idioma de trabajo de la JE es el inglés, por lo que el DDP debe ser presentado en este idioma. Sin embargo se dispone de los principales documentos relativos al MDL en los otros cinco idiomas oficiales de Naciones Unidas, incluyéndose por tanto el español, aunque hasta el momento presente sólo existe la versión oficial inglesa de los documentos citados en las referencias: (CDM-EXECUTIVE BOARD, 2004 a, b, c, d y e).

De acuerdo con el formato previsto el DDP debe incluir: la descripción de la actividad de proyecto, la aplicación al proyecto de una metodología para la base de referencia aprobada por la JE, la aplicación de una metodología de vigilancia del funcionamiento del proyecto aprobada por la JE con su correspondiente plan de vigilancia, una estimación de las reducciones de emisiones de GEI por fuentes, las repercusiones ambientales, y las alegaciones de los interesados en el proyecto.

El documento de proyecto debe ser validado por una Entidad Operacional Designada (EOD) contratada por los participantes. Asimismo debe ser

sometido a información pública local e internacional, y a la aprobación y registro por la JE. Para la fase de operación, el DDP establece un plan de vigilancia que permita a los participantes calcular periódicamente las reducciones de emisiones de GEI por las fuentes.

A continuación se exponen los elementos principales del diseño de un proyecto MDL.

3.6.1 Base de referencia o Línea base

De acuerdo con las Modalidades y Procedimientos del MDL, “La Base de Referencia de un proyecto del MDL, es el escenario que representa de manera razonable las emisiones antropógenas por fuentes de GEI que se producirían de no realizarse el proyecto MDL propuesto. La base de referencia abarcará las emisiones de todas las categorías de gases, sectores y fuentes enumeradas en el Anexo A del Protocolo de Kyoto dentro del ámbito del proyecto”. Por tanto, si los participantes seleccionan una metodología aprobada por la JE y adecuada al proyecto, se considerará que la base de referencia resultado de su aplicación, representa de manera razonable las emisiones antropógenas de GEI por fuentes que se producirían si no se realizase el proyecto.

La base de referencia aplicada debe permitir:

- Calcular las emisiones de GEI que cabría esperar en los escenarios inerciales o habituales.

- Comparar las emisiones de GEI de la base de referencia con las del proyecto, para tener una estimación de la reducción de emisiones que se espera lograr con el proyecto propuesto.
- Comprobar que el proyecto es adicional, constatando que no está en la base de referencia, para que ésta represente realmente lo que ocurriría en ausencia del proyecto MDL.

Según las modalidades y procedimientos del MDL, la metodología de la base de referencia para un proyecto determinado, estará fundamentada en uno de los tres criterios que se citan literalmente a continuación:

- A) Las emisiones efectivas del momento o del pasado, según se aplique.
- B) Las emisiones con una tecnología que represente una línea de acción económicamente atractiva, teniendo en cuenta las barreras a las inversiones.
- C) Las tasas promedio de emisiones de actividades de proyecto análogas, realizadas en los cinco años anteriores en circunstancias sociales, económicas, ambientales y tecnológicas parecidas y con resultados que la sitúen dentro del 20% superior a su categoría.

Los participantes han de escoger el criterio más adecuado, teniendo en cuenta la situación técnica del sector económico en el que se integra el proyecto, y las características socio - económicas de la región del País anfitrión donde se ha de ubicar.

Si la estructura del sector económico presenta estabilidad en las emisiones antropogénicas de GEI (debe seleccionarse el criterio A), mientras que si las perspectivas del sector tienden a mejorar ambientalmente (disminución de

las tasas de emisión), la metodología de la base de referencia ha de fundamentarse en el criterio C.

Si la situación socio - económica de la región presenta barreras de tipo técnico, económico o financiero al proyecto convencional, la metodología de la base de referencia debe apoyarse en el criterio B.

Los participantes pueden optar por utilizar una metodología ya aprobada por la JE, que se publican en la página web del MDL o bien proponer una nueva metodología que se adapte mejor a su proyecto, justificando su selección.

En este último caso, los participantes deben desarrollar una nueva metodología de la base de referencia basada en los criterios citados anteriormente y adecuada al proyecto, y cumplimentar el documento "Proposed New Methodology: Baseline (CDM-NMB)", versión 01.

En este caso, los participantes deberán justificar el criterio en el que se fundamenta la nueva metodología, describirla e incluir las fuentes de los datos y las incertidumbres asociadas. La propuesta explicará de forma transparente y conservadora cómo la metodología elegida permite el desarrollo de la base de referencia del proyecto.

En base a la experiencia que se tiene hasta diciembre de 2004, un compendio ilustrativo, pero no exhaustivo de objeciones, por el que el Panel de Metodologías ha obligado la revisión de una metodología nueva de base de referencia, o a su rechazo definitivo, puede ser el siguiente:

- No hay una argumentación clara para justificar que la metodología de la base de referencia propuesta es la más apropiada.

- No se demuestra que la actividad de proyecto no es la base de referencia, ni parte de la misma.
- Falta de transparencia y/o enfoque conservador en la metodología.
- Precisión insuficiente en el análisis financiero no se ha aplicado una metodología específica al cálculo de costos.
- Falta de claridad y brevedad en la descripción de la metodología
- La metodología no es genérica.
- No se da una especificación completa en la metodología de la base de referencia propuesta.
- La adicionalidad no ha sido suficientemente demostrada.
- Las fronteras o las fugas del proyecto no están definidos suficientemente y falta de explicación de porqué las fugas son despreciables.
- Necesidad de una mejor explicación en el análisis de sensibilidad y una evaluación de las incertidumbres más detallada.
- No se da justificación de las hipótesis clave y no es factible la verificación de los parámetros clave.
- No hay justificación / verificación de los datos utilizados.
- No hay consideración de cambios en las políticas nacionales y regionales o de otras circunstancias como mejoras en ciertas tecnologías.
- No hay cálculo de un factor de emisión ex ante de la base de referencia.
- Aplicación de un PCA (potencial de calentamiento Atmosférico) equivocado.
- Hay un uso equivocado de los términos utilizados.

3.6.2 Adicionalidad

De acuerdo con las Modalidades y Procedimientos del MDL, “Un proyecto MDL es adicional si la reducción de emisiones antropógenas de GEI por fuentes es superior a la que se produciría de no realizarse el proyecto MDL propuesto”.

En la quinta reunión de la JE, se dio una definición alternativa de adicionalidad: “Un proyecto MDL es adicional si sus emisiones están por debajo de las de la base de referencia”.

De la definición de adicionalidad se deduce que un proyecto MDL no puede formar parte de la base de referencia.

Es de suma importancia comprobar si un proyecto es adicional, porque los créditos por la reducción de emisiones antropógenas de GEI sólo pueden otorgarse a este tipo de proyectos. Por ello deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El propósito de la prueba de adicionalidad es cerciorarse de que los proyectos que reciban créditos no se hubieran construido en los escenarios inerciales o habituales. Si el proyecto se hubiera desarrollado en cualquier caso, no se reducirían las emisiones por debajo de la base de referencia y, por lo tanto, no se justificaría la generación de RCE.
- El DDP, debe incluir una explicación de cómo y porqué el proyecto es adicional, y por lo tanto no puede estar incluido en la base de referencia.
- En el supuesto de una nueva metodología de base de referencia, los participantes deberán explicar cómo la metodología utilizada determina la base de referencia y, demostrar a través de la misma, la adicionalidad de un

proyecto. Además, la metodología debe proporcionar criterios suficientes para calcular las emisiones de la base de referencia, asegurando la consistencia entre la elaboración de la base de referencia y las fórmulas usadas para calcular las emisiones.

Los siguientes razonamientos pueden ayudar a demostrar la adicionalidad de un proyecto MDL:

- Un diagrama de flujo o serie de preguntas que conlleven a la disminución de las opciones de bases de referencia.
- Una comparación cuantitativa o cualitativa de diferentes opciones potenciales de la base de referencia, con una constatación de que una opción diferente al proyecto MDL tiene mayores posibilidades de llevarse a cabo.

Una descripción, cuantitativa o cualitativa, de una o más barreras a que debe enfrentarse el proyecto MDL, tales como las que se indican a continuación:

- De Inversión: ¿Existe una alternativa más viable financieramente que el proyecto MDL pero que conduce a mayores emisiones?
- Tecnológicas: ¿Una alternativa menos avanzada tecnológicamente que el proyecto MDL involucra un menor riesgo, debido a la mayor incertidumbre de la nueva tecnología o a que ésta cubre una menor proporción del mercado. Pero, la tecnología convencional conduce a mayores emisiones?
- Escenarios inerciales: ¿Los escenarios inerciales, o las regulaciones, o los requerimientos políticos podrían llevar a la implantación de una tecnología con mayores emisiones que los del proyecto MDL?

- Otras barreras: ¿Sin el proyecto MDL propuesto, y por razones específicas identificadas por los participantes, tales como barreras institucionales, de información limitada, escasos recursos directivos, poca capacidad organizativa, pocos recursos financieros, o poca capacidad para asimilar nuevas tecnologías, las emisiones del País anfitrión serían mayores?
- El tipo de proyecto MDL propuesto no es típico en el área geográfica de su implantación, y no es exigido por la legislación o regulación del País anfitrión.

3.6.3 Período de acreditación

Se entiende por periodo de acreditación el tiempo en que una EOD verifica y certifica las reducciones de emisiones de GEI debidas a la actividad del Proyecto, a fin de la JE pueda dar su aprobación a la expedición de las reducciones certificadas de emisiones (RCE).

Los participantes deben indicar en el documento del proyecto, la fecha de iniciación y tiempo de funcionamiento del proyecto, así como el periodo de acreditación. Los participantes pueden elegir entre un periodo de acreditación fijo **máximo de diez años** no renovable, o un periodo de **siete años renovable como máximo dos veces**, siempre que una EOD determine en las renovaciones la validez de la base de referencia original e informe a la JE.

3.6.4 Vigilancia

La etapa de vigilancia comprende la recopilación y archivo de los datos necesarios durante el periodo de acreditación para determinar la validez de la base de referencia, y estimar o medir las emisiones antropógenas por las fuentes de GEI en el ámbito del proyecto, así como también fuera de este ámbito si son mensurables y atribuibles al mismo, denominadas fugas.

Para ello los participantes deberán desarrollar un Plan de Vigilancia que se corresponda con las obligaciones establecidas en el párrafo anterior, Plan que debe elaborarse utilizando una metodología de vigilancia aprobada por la JE.

En el caso que no exista una metodología de vigilancia aprobada aplicable al proyecto, los participantes deben desarrollar una nueva metodología de vigilancia que se ajuste a la actividad del proyecto, y complementar el documento “Proposed New Methodology: Monitoring (CDM-NMM)”

Hay que señalar que las metodologías de la base de referencia y vigilancia están íntimamente relacionadas, por lo que siempre se utilizarán juntas. Además es importante volver a señalar que ambas metodologías deben servir para demostrar la adicionalidad del Proyecto.

Las metodologías de base de referencia y de vigilancia en estudio, aprobadas, o aprobadas y consolidadas por la JE se hacen públicas en la página Web del MDL, con la referencia NMXXXX, siendo XXXX el orden de presentación para las que están en proceso de aprobación; AMXXXX para las aprobadas, y ACMXXXX para las aprobadas y consolidadas, donde XXXX indica el orden de aprobación, o aprobación - consolidación en cada

caso. Este proceso es muy dinámico, ya que las metodologías aprobadas pueden combinarse con propuestas posteriores para establecer metodologías más robustas, siendo, por tanto, recomendable revisar constantemente la página Web del MDL. (<http://cdm.unfccc.int/methodologies>)

Hasta diciembre de 2004 se habían aprobado 19 metodologías, y se habían aprobado y consolidado las dos metodologías siguientes:

- ACM0001: “Metodología consolidada de base de referencia y de vigilancia para proyectos de gases de vertedero”
- ACM0002: “Metodología consolidada de base de referencia y de vigilancia para generación eléctrica conectada a la red de emisión cero, a partir de fuentes renovables”.

Además para proyectos MDL de pequeña escala hay quince metodologías aprobadas de referencia AMS - categoría de la actividad del proyecto.

En base a lo sucedido hasta diciembre de 2004, al igual que ha ocurrido con las nuevas metodologías de la base de referencia, las razones principales para la no aprobación de una metodología nueva de vigilancia han sido las siguientes:

- No se ha podido aprobar la metodología de vigilancia propuesta debido al rechazo de la metodología de la base de referencia.
- No se considera coherente con la base de referencia.
- Falta un listado de todos los datos que hay que medir y archivar.
- No se ha considerado la vigilancia de fugas potenciales.
- La vigilancia debería ser más frecuente.

- Hay una falta de descripción suficiente del equipo de medición.
- La calibración de la instrumentación debería hacerse más frecuentemente.
- Hay una falta de transparencia en todas las hipótesis utilizadas en el cálculo de las emisiones.
- Los cálculos y algoritmos han sido incluidos en el DDP.
- No hay justificación suficiente de que las hipótesis utilizadas para los cálculos de emisiones sean conservadoras.
- Se necesitan cálculos adicionales de importancia.
- La especificación de los datos debe ser más completa.
- No hay suficiente seguimiento de la regulación / legislación nacional ni regional.

Los planes de vigilancia dependen del tipo de proyectos, ya que en unos la reducción de emisiones es la diferencia entre las emisiones de la base de referencia y las emisiones del proyecto, mientras que en otros es resultado directo del proyecto; existen, por ello, las dos opciones de vigilancia que se indican a continuación:

- Opción 1: Vigilancia de las emisiones de los escenarios del proyecto MDL y de la base de referencia. (CDM-EXECUTIVE BOARD, 2004).
- Opción 2: Vigilancia directa de la reducción de emisiones debidos al proyecto (CDMEXECUTIVE BOARD, 2004).

Asimismo se exige una garantía de calidad en los datos utilizados, así como su conservación en los archivos hasta dos años después de la finalización del periodo de acreditación.

La ejecución del Plan de Vigilancia es requisito para la verificación, certificación y expedición de las certificación de emisiones reducidas (CERs).

3.6.5 Repercusiones ambientales

Los participantes deben analizar los impactos ambientales del proyecto, considerando el documento del proyecto si éste produce un impacto ambiental significativo, incluidos los impactos transfronterizos.

En caso de que los impactos ambientales se consideren significativos, los participantes deberán exponer los medios previstos para su mitigación.

Estudios de Impacto Ambiental en un proyecto MDL

La política ambiental de los países debe ser orientada hacia la existencia y desarrollo de proyectos de inversión, en donde hay que conciliar la estrategia de crecimiento económico con la debida protección del medio ambiente. Las inversiones publicas y/ o privadas deben estar orientadas al uso sustentable de los recursos naturales, sin que por ello se afecte el desarrollo económico. En la práctica el objetivo será incorporar la dimensión ambiental en la evaluación de proyectos y actividades.

La responsabilidad de implementar y administrar un sistema para evaluar el impacto Ambiental es del gobierno y la verificación de su aplicación a algún proyecto MDL lo debe hacer la Entidad Operacional Designada. El impacto ambiental se debe evaluar en el área de influencia de un proyecto. Los límites del proyecto deben abarcar todas las emisiones antropógenas de GEI

bajo el control del titular, que son significativas y que razonablemente pueden ser atribuidas al proyecto MDL.

Durante la ejecución del proyecto, se debe hacer una evaluación de los impactos ambientales y sociales. Si durante la implementación del proyecto, ocurren impactos negativos, el proyecto debe hacer una amplia notificación pública; para que no se vea afectada su credibilidad.

Las reglas para la selección de cualquier proyecto MDL deben de ser tales que protejan los ecosistemas, eviten impactos indeseables y promuevan el cumplimiento de la normativa. Los proyectos deben ser consistentes con los objetivos y la evolución de los convenios sobre medio ambiente, al igual que con la legislación ambiental local y/o nacional. La metodología para calcular bases de referencia y fugas, debe de ser sólida.

Todo proyecto MDL debe hacerse con una actitud y tendencia positiva, por lo que tanto para los resultados como las aplicaciones hay que ser específicos, evitando que el sensacionalismo - catastrofismo sesgue la información y por lo tanto la decisión de su aceptación o rechazo.

En el caso de que el proyecto reduzca las emisiones de GEI por encima de los valores estimados en el DDP - MDL, hay que realizar conservadoramente los cálculos para demostrar esta disminución de las emisiones, citando el impacto logrado en casos similares.

Si no hay un procedimiento de consulta, y existe un grupo de personas que puedan ser afectados por el proyecto MDL, los participantes deben realizar las siguientes acciones:

1. Identificar a los interesados locales afectados, o posiblemente afectados, por el proyecto. Los interesados pueden ser personas, grupos o comunidades.
2. Desarrollar un programa de comunicación que incluya la explicación escrita o verbal del mecanismo MDL, una descripción del proyecto y de sus posibles impactos así como una explicación del documento de proyecto (DDP).
3. Invitar a los interesados identificados para que hagan alegaciones sobre los aspectos del proyecto MDL. La invitación puede hacerse publicando un anuncio cuando menos en un periódico local, solicitando los comentarios por escrito y citando a una reunión explicativa.

La invitación debe mencionar que se puede solicitar y obtener:

- La información que describe el MDL.
 - El documento de proyecto, DDP.
 - La información de los posibles impactos de la actividad del proyecto.
4. Registrar todas las respuestas. Esto puede hacerse bien a través de las actas de las reuniones con los interesados o en un resumen escrito que identifique y responda a los principales cuestionamientos.
 5. El informe escrito de la consulta a los interesados que deberá contener tanto las respuestas escritas como las verbales, y presentar todos los comentarios, incluidos las objeciones y apoyos al proyecto, e indicar claramente las medidas acordadas por los participantes para aliviar las inquietudes de los interesados locales. Se deberá mencionar la forma de localizar a los mismos.

En algunos casos puede ser difícil para los participantes definir quiénes son los interesados en relación con un proyecto. El desarrollo de una base de datos a nivel de país con este propósito, puede ser de utilidad para mantener la transparencia precisa y conocer las prioridades nacionales para un desarrollo sostenible.

3.6.6 Aprobación por el País anfitrión

Los participantes deben tener la aprobación por escrito de la Autoridad Nacional Designada (AND) en este Perú el CONAM, de la Parte interesada, que consiste en la autorización a una o varias entidades específicas a participar como proponentes de una determinada actividad de proyecto MDL. El país debe haber ratificado el Protocolo de Kyoto, y la AND debe emitir una carta de aprobación de participación voluntaria en la actividad MDL propuesta y una declaración de que el proyecto contribuye a su Desarrollo Sostenible.

Es por tanto responsabilidad de los participantes someter el proyecto MDL a aprobación de la AND del País anfitrión como paso previo al informe de validación de la EOD y por tanto al registro del mismo por la Junta Ejecutiva del MDL. Las AND pueden además establecer los requisitos que consideren oportunos para la aprobación de proyectos MDL en su territorio.

Por lo tanto, es conveniente que los participantes contacten con la AND de la Parte anfitrión en la iniciación del proyecto, para verificar que el país cumple con todos los requisitos exigidos; orientar adecuadamente el desarrollo del proyecto y conocer qué reglamentos y normas se aplican en el país con

respecto a los proyectos MDL. Si la Parte anfitrión todavía no cumple con alguno de los requisitos, es importante verificar si su política ambiental es concordante con respecto a la Convención Marco y al Protocolo de Kyoto, que pueda asegurar en un futuro próximo el cumplimiento de los requisitos de elegibilidad.

La aprobación del proyecto en este ámbito debe estar anexada al final del documento del proyecto.

3.7 Validación

Esta etapa del ciclo de proyecto consiste en una evaluación independiente de las actividades de proyecto MDL, por una Entidad Operacional Designada (EOD), que constata el cumplimiento de todos los requisitos establecidos por los Modalidades y Procedimientos (MP) del MDL, y las decisiones de la CoPs en base al Documento de Diseño del Proyecto. Estas entidades son contratadas por los participantes, que pueden elegir entre las acreditadas por la JE del MDL.

La Entidad Operacional Designada debe constatar que están tratados correctamente los siguientes puntos:

- El proyecto es voluntario y está aprobado por la Parte anfitrión.
- El proyecto cumple con las Modalidades y Procedimientos de las MP del MDL, y regulaciones posteriores que haya aprobado la JE.
- El documento del proyecto está completo.
- Las metodologías de la base de referencia y de vigilancia elegidas están aprobadas por la JE, son aplicables a la actividad del proyecto, y están

utilizadas correctamente o bien se proponen metodologías nuevas que deben ser aprobadas previamente por la JE.

- Se demuestra la adicionalidad de la actividad de proyecto.
- Los límites de emisión del proyecto incluyen todas las fuentes de emisión de GEI que están bajo el control de los participantes, y se tienen en consideración las posibles fugas para hacer los ajustes correspondientes.
- Los cálculos de la base de referencia son conservadores y tienen en cuenta las incertidumbres.
- Los cálculos son adecuados para la actividad del proyecto y reflejan las circunstancias nacionales y sectoriales, incluyendo escenarios futuros viables en base a las circunstancias del País anfitrión.
- La base de referencia no incluye factores externos a los límites del proyecto, como pueden ser los desastres naturales.
- El proyecto incluye un plan de vigilancia efectivo y fiable.
- Se ha seleccionado el periodo de acreditación.
- El proyecto incluye un informe resumido de los comentarios recibidos de los interesados locales.
- El proyecto incluye, si es necesario, un estudio de impacto ambiental.

Durante la fase de validación, la EOD debe dirigirse a los interesados internacionales, especialmente a las organizaciones no gubernamentales (ONG) acreditadas ante la CMNUCC, para invitarles a realizar observaciones sobre el proyecto MDL, e incluir en el informe de validación el análisis de estas opiniones y la manera en que fueron resueltas.

La Entidad Operacional Designada, una vez comprobado que la documentación preparada por los participantes es correcta y completa, debe proceder a su remisión a la JE, unido a su informe razonado de validación.

3.8 Registro

El registro es la aceptación oficial de un proyecto MDL por la JE a petición de la EOD que lo ha validado. Es una etapa imprescindible para las fases siguientes del ciclo: verificación, certificación y expedición de las reducciones certificadas de emisiones (RCE).

La EOD deberá presentar una solicitud de registro ante la JE en forma de informe de validación, incluyendo el documento de proyecto (DDP), la aprobación del proyecto por la Parte anfitrión, y una explicación sobre las alegaciones recibidas y cómo se ha tenido en cuenta.

Transcurridas ocho semanas desde la presentación de solicitud, el proyecto MDL se considerará registrado, a no ser que una Parte relacionada con el proyecto o al menos tres miembros de la JE pidan una revisión del proyecto.

Esta revisión se referirá a los requisitos de validación, y finalizará como máximo en la segunda reunión de la JE celebrada después de la solicitud de revisión.

3.9 Implantación y Vigilancia

Una vez que un proyecto MDL ha sido registrado por la JE, los participantes pueden proceder a su implantación, exceptuándose los proyectos iniciados

en el año 2000 y cuyo registro se solicite antes del 31 de diciembre del 2006, en cuyo caso la implantación puede ser anterior al registro.

Los participantes son responsables de la vigilancia de la actividad del proyecto en la fase operativa, que debe realizarse de acuerdo con las exigencias del plan de vigilancia incluido en el documento de diseño del proyecto validado.

El plan de vigilancia se activará, por tanto, al iniciarse el funcionamiento normal del proyecto MDL registrado. A partir de los datos obtenidos, los participantes estimarán o medirán las reducciones de emisiones antropogénicas de GEI, por fuentes, producidas por la actividad del proyecto en un tiempo determinado.

Los participantes deberán emitir un informe de vigilancia, que incluya las reducciones citadas en el párrafo anterior y someterlo a una EOD para su verificación y certificación.

3.10 Verificación y Certificación

La Verificación de un proyecto MDL es el examen periódico e independiente, y la determinación a posteriori por una Entidad Operacional Designada (EOD), de las reducciones vigiladas de emisiones antropógenas por fuentes de GEI que han ocurrido como resultado de una actividad del proyecto MDL.

La Certificación es la constancia por escrito de la Entidad Operacional Designada de que, durante un periodo de tiempo especificado, una actividad de proyecto alcanzó las reducciones de emisiones antropógenas por fuentes de los GEI, tal como se habían verificado.

Es responsabilidad de los participantes contratar una EOD entre las entidades operacionales acreditadas por la JE para llevar a cabo la verificación y certificación. La EOD elegida debe ser diferente de la que realizó la validación.

Asimismo, los participantes, de acuerdo con la EOD, deben determinar con qué frecuencia se han de llevar a cabo las verificaciones a lo largo de la actividad de proyecto.

La Entidad Operacional Designada será responsable en las etapas de verificación y certificación del ciclo del proyecto, que deberá incluir las siguientes acciones:

- Determinar que la documentación presentada concuerda con los requerimientos del DDP registrado, con las disposiciones pertinentes de la decisión y con las decisiones pertinentes de la CoPs.
- Realizar las inspecciones “in situ”, necesarias, que podrán incluir un examen de los resultados logrados, entrevistas con los participantes y con los interesados locales, una recopilación de las mediciones, y la comprobación de la exactitud precisa del equipo de vigilancia.
- Usar datos adicionales de otras fuentes, si procede.
- Examinar los resultados de la vigilancia, comprobando que las metodologías para la estimación de las CERs por fuentes han sido aplicadas correctamente, y que la documentación correspondiente sea completa y transparente.
- Recomendar a los participantes las modificaciones en la metodología de vigilancia que estime convenientes.

- Determinar las CERs por fuentes de GEI que no se habrían producido de no realizarse la actividad de proyecto del MDL, a partir de los datos y la información que se deriven de lo dispuesto en los tres primeros puntos de este epígrafe, utilizando procedimientos de cálculo que sean compatibles con los señalados en el documento de proyecto y en el plan de vigilancia.
- Determinar y comunicar a los participantes los problemas que puedan suscitarse respecto a la coherencia entre la actividad real y el DDP registrado. Los participantes deberán ocuparse de esos problemas y presentar la información adicional que fuera necesaria.
- Presentar un informe de verificación a los participantes, a las Partes interesadas y a la Junta Ejecutiva. El informe se pondrá a disposición pública.

Asimismo la EOD deberá, basado en su informe de verificación, certificar por escrito que durante el periodo de tiempo especificado, la actividad de proyecto alcanzó la cantidad verificada de reducciones de emisiones de GEI por fuentes, que no hubieran ocurrido en ausencia de la actividad de proyecto MDL. También Informará por escrito a los participantes, a las Partes interesadas y a la Junta Ejecutiva de su decisión de certificación. Al terminar el proceso de certificación, pondrá inmediatamente a información pública el informe de certificación.

3.11 Expedición de Certificados de Emisiones Reducidas (CERs)

El informe de certificación es, en sí mismo, una solicitud a la JE de expedición de las CERs equivalentes a la cantidad verificada de reducciones de emisiones antropógenas por fuentes de los GEI.

La expedición debe hacerse en un plazo de 15 días a partir de la recepción, a menos que sea solicitada una revisión por alguna de las Partes interesadas en la actividad de proyecto, o por al menos tres miembros de la JE. La revisión se limita a cuestiones de fraude, incorrección o incompetencia de la EOD, y debe quedar concluida en un plazo de 30 días.

Al recibir el Administrador del Registro del MDL, instrucciones de la JE para expedir las CERs resultantes de la actividad del proyecto MDL, las expedirá y abonará en la cuenta de transición de la JE del registro del MDL. A continuación el Administrador del Registro transferirá:

- La cantidad de CERs equivalente a los gastos administrativos y de adaptación, a la cuenta del Registro prevista para estos fondos
- La cantidad de CERs restantes a las cuentas de las Partes y de los participantes según lo indicado en la solicitud

CAPÍTULO IV
NOCIONES DE METEOROLOGÍA E INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA
EÓLICA

4.1 Nociones de meteorología

La Tierra está dotada de dos movimientos principales estrechamente relacionados con el clima y sus variaciones: el de traslación y el de rotación. El primero es el recorrido que efectúa el planeta en torno al Sol, fuente de calor que regula todo el proceso climático terrestre. Y el segundo es el movimiento que ejecuta la Tierra sobre su eje imaginario que pasa por los polos, y que produce el día y la noche, con la consiguiente influencia en los procesos atmosféricos. La órbita que describe la Tierra no es una circunferencia, sino una elipse ligeramente alargada, ocupando el Sol uno de los focos, aunque hay que reconocer que su excentricidad es muy pequeña. Cuando la tierra pasa por el punto más cercano al Sol, llamado perihelio (sucede en enero), se encuentra a 147.7 millones de kilómetros del mismo, mientras que cuando se halla en el punto más alejado, llamado afelio (sucede en julio), dista 152.2 millones de kilómetros. No obstante, por orden práctico, casi siempre se utiliza la distancia media, cuyo valor aproximado es de 149.5 millones de kilómetros. El tiempo que tarda la Tierra en completar ese recorrido da origen al año terrestre, que es de 365 días, 5 horas, 48

minutos y 45.975 segundos. Se le denomina año trópico y es la unidad fundamental del tiempo, comenzando las distintas estaciones en las mismas épocas de ese año.

4.1.1 Zonas climáticas

El eje imaginario en torno del cual gira el globo terrestre no es perpendicular al plano de la órbita que describe alrededor del Sol, conocido como eclíptica, sino que está $23^{\circ} 27'$ inclinado con respecto al mismo. Se debe a esta inclinación la desigualdad de los días y las noches y la sucesión de las estaciones. La inclinación del eje terrestre, unida a la excentricidad de la órbita y a la esfericidad del planeta, hace que la cantidad de luz y calor procedente del astro rey no sea la misma en toda la superficie de la Tierra. Estas diferencias de iluminación y por consiguiente del calentamiento de la atmósfera y suelo terrestres, son causa de que experimente grandes oscilaciones la temperatura de cada región, país y continente y de que varíen constantemente a través del año los fenómenos que dependen de la misma. Cuando en un hemisferio es invierno, en el otro es verano; cuando en uno es primavera, en el otro es otoño; y así sucesivamente. Estas cuatro estaciones están determinadas por cuatro posiciones principales, opuestas dos a dos simétricamente que ocupa la Tierra durante su recorrido en torno al astro rey.

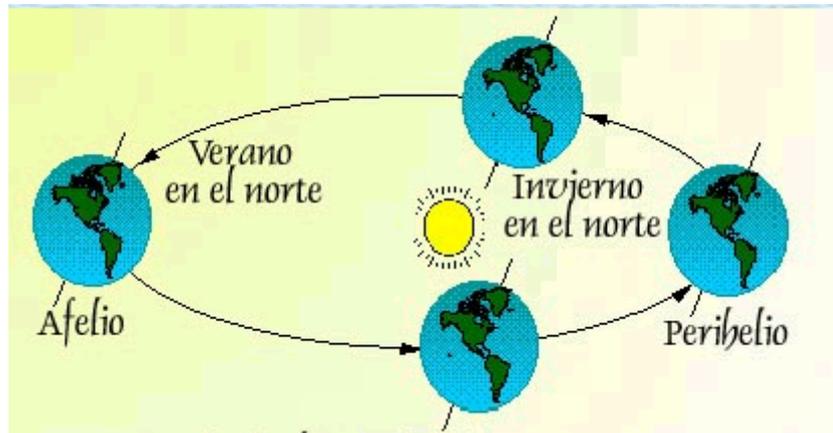


Fig. 4.1 La tierra y sus posiciones

4.2 Qué es el viento

El viento es la variante de estado del aire, el viento es aire en movimiento y aunque en general su movimiento es tridimensional normalmente sólo se considera la velocidad y dirección de la componente horizontal. También puede definirse el viento como una corriente de aire que se produce en la atmósfera por diversas causas naturales. Reseñare algunos grandes pensamientos con respecto al aire:

- Empédocles de Agrigento, filósofo y político democrático griego, lo consideró uno de los cuatro elementos primordiales. (junto con el agua, el fuego y la tierra)
- Para los alquimistas medievales, aire era una denominación genérica que designaba diversos gases, el oxígeno era el aire vital y el hidrógeno era el aire inflamable.
- Considerado después como un elemento simple, su carácter de mezcla fue demostrado por Lavoisier a mediados del siglo XVII.

Para el análisis del viento en una zona determinada conviene que consideremos el clima existente, definido éste como el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Son factores determinantes del clima:

- La latitud, que condiciona el efecto de la radiación solar.
- La altitud, que incide en la presión y la temperatura.
- La distribución entre tierras y mares, que ejerce una acción modificadora o moderadora de los restantes factores.

Existen diversos criterios para la clasificación de los climas y su delimitación geográfica, si bien el más clásico distingue cinco grandes zonas climáticas, en cuya definición se tienen en cuenta factores térmicos y de precipitaciones y su alternancia estacional:

- El clima tropical lluvioso, característico de bajas latitudes, con temperaturas elevadas, lluvias abundantes y carencia de invierno. Es propio de los grandes bosques tropicales y de la sabana.
- El clima seco o árido, correspondiente a la estepa y a los desiertos. caracterizados estos últimos por su aridez extrema.
- El clima templado lluvioso, en el que la lluvia puede ser uniforme todo el año, o bien con un máximo en determinada estación y con marcadas oscilaciones estacionales. Dentro de esta división se encuentra el clima mediterráneo.
- El clima frío, correspondiente a latitudes elevadas, con bajas temperaturas medias y variantes continental u oceánico, de inviernos secos o con lluvia

todo el año, y el clima polar, perteneciente al Ártico y al Antártico, con fríos extremos.

El clima de una región geográfica es en su mayor parte consecuencia de los vientos generales que la afectan.



Fig. 4.2 El viento en el mar

4.2.1 Dirección y velocidad del viento

La dirección del viento viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida en 360° . El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. De este modo, un viento del SE equivale a 135° ; uno del S. a 180° ; uno del NO, a 315° , etc. La velocidad del viento se mide preferentemente en náutica en nudos mediante la escala Beaufort. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado de la mar. Esta descripción es inexacta pues varía en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento.

°	Denominación	Símbolo	Velocidad		Descripción
			nudos	Km/h	
0	Calma		< 1	< 2	Mar como un espejo.
1	Ventolina		1-3	2-6	Rizos como escamas de pescado, pero sin espuma.
2	Flojito (Brisa muy débil)		4-6	7-11	Pequeñas olas, crestas de apariencia vitrea, sin romperse.
3	Flojo (Brisa débil)		7-10	12-19	Pequeñas olas, crestas rompientes, espuma de aspecto vitreo, vellones de espuma.
4	Bonacible (Brisa moderada)		11-16	20-30	Olas un poco largas. Numerosos borreguillos.
5	Fresquito (Brisa fresca)		17-21	31-39	Olas moderadas y alargadas. Gran abundancia de borreguillos y eventualmente algunos rociones.
6	Fresco (Brisa fuerte)		22-27	40-50	Comienza la formación de olas grandes. Las crestas de espuma blanca se ven por doquier. Aumentan los rociones y la navegación es peligrosa para embarcaciones menores.
7	Frescachón (Viento fuerte)		28-33	51-61	La espuma es arrastrada en dirección del viento. Mar gruesa.
8	Temporal (Viento duro)		34-40	62-74	Olas altas con rompientes. La espuma es arrastrada en nubes blancas.
9	Temporal Fuerte (Muy duro)		41-47	75-87	Olas muy gruesas. La espuma es arrastrada en capas espesas. La mar empieza a rugir. Los rociones dificultan la visibilidad.
10	Temporal Duro (Temporal)		48-55	88-102	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La superficie de la mar parece blanca. Visibilidad reducida. El mar ruge.
11	Temporal Muy Duro (Borrasca)		56-63	103-117	Olas excepcionalmente grandes (los buques de mediano tonelaje se pierden de vista). Visibilidad muy reducida.
12	Temporal Huracanado (Huracán)		64-71 >	118-132 >	El aire está lleno de espuma y de rociones. La visibilidad es casi nula.

Tabla 4.1 Escala Beaufort - Intensidad del viento

Con la llegada de los modernos anemómetros, a cada grado de la escala se le ha asignado una banda de velocidades medidas por lo menos durante 10 minutos a 10 metros de altura sobre el nivel del mar. En la meteorología sinóptica moderna, la escala Beaufort tiende a sustituirse por las mediciones precisas en nudos.. Para análisis de viento dirigidos a su **utilización energética** se emplea como unidad de velocidad m/s. En la alta troposfera entre los 5 a 20 km de altura los vientos pueden llegar a ser mayores a 100 nudos (50 m/s). A este flujo se le denomina corriente en chorro. (Jet Stream)

4.2.2 Medición de la dirección y velocidad del viento

El aparato tradicionalmente empleado para medir la dirección del viento es la veleta, que marca la dirección en grados en la propia rosa. Debe instalarse de acuerdo a los procedimientos internacionales vigentes para evitar las perturbaciones.



Fig. 4.3 Veleta anemómetro - WIND 100

Se considera que partir de 10 m de altura las perturbaciones no afectan de forma notable a la medida. La velocidad del viento se mide con el anemómetro, que es un molinete de tres brazos separados por ángulos de 120°, que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad.

4.3 Por qué y cómo se desarrolla el viento

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y por tanto más denso. Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de "corriente de convección" para los movimientos de aire en sentido vertical. Para las aplicaciones eólicas, el conocimiento de la presión atmosférica resulta de vital importancia, ésta es la presión que ejerce la atmósfera sobre los cuerpos sumergidos en ella. El aire frío pesa más que el caliente y éste es uno de los factores que influyen en las diferencias de presión atmosférica a un mismo nivel. En efecto, los anticiclones y las borrascas generan corrientes de aire en sentido vertical que modifican sustancialmente el valor de la presión atmosférica, circunstancia que afecta de forma notable la potencia de generación de un aerogenerador. En superficie el viento viene definido por dos parámetros: dirección en el plano horizontal y la velocidad.

Estos parámetros se usarán más frecuentemente al tratar el potencial eólico disponible en un emplazamiento. La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis.



Fig. 4.4 Borrascas y anticiclones

Teorema de Coriolis

"La diferencia entre las aceleraciones absoluta y relativa de un punto material, entre dos sistemas de referencia móviles entre sí, no es sólo la aceleración de arrastre, sino que debe tenerse en cuenta la presencia de un término correctivo que actúa como una aceleración complementaria y que depende de la velocidad relativa"

La fuerza de Coriolis, también denominada efecto de Coriolis o aceleración de Coriolis, descrita en 1835 por el científico francés Gaspard-Gustave Coriolis, es una fuerza que se ejerce sobre cualquier objeto con masa que se

desplaza sobre otro objeto con masa en rotación. El efecto en sí tiende a desviar la trayectoria de los objetos que se desplazan sobre la superficie terrestre, hacia a la derecha (sentido horario o giro norte) en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda (sentido antihorario o giro sur) en el Hemisferio Sur. El efecto sólo es notable a gran escala debido a la lentitud de rotación de la Tierra. Analíticamente, el efecto Coriolis tiene su origen en los términos de segundo orden de la ecuación que representa la aceleración, los cuales actúan sobre la masa, provocando una fuerza pequeña en términos relativos. La fuerza de Coriolis desempeña un importante papel en las pautas meteorológicas, afectando a los vientos predominantes y a la formación de tormentas, y también a las corrientes oceánicas. Por encima del límite de la atmósfera, la fricción desempeña un papel relativamente menor, dado que las masas de aire se mueven esencialmente en direcciones paralelas. En dicha región, existe un cierto equilibrio entre las fuerzas debidas al gradiente de presión y la fuerza de Coriolis, que da lugar a los denominados vientos geostróficos, vientos gobernados exclusivamente por dichas dos fuerzas que afectan a las isobaras (a las líneas de nivel geopotencial constante, para ser precisos). Como consecuencia, los sistemas de bajas presiones rotan en sentido contrario a las agujas del reloj en el Hemisferio Norte, mientras que los sistemas de altas presiones y los ciclones en el Hemisferio Sur rotan en el sentido de las agujas del reloj, como establecen las leyes de Buys-Ballot.

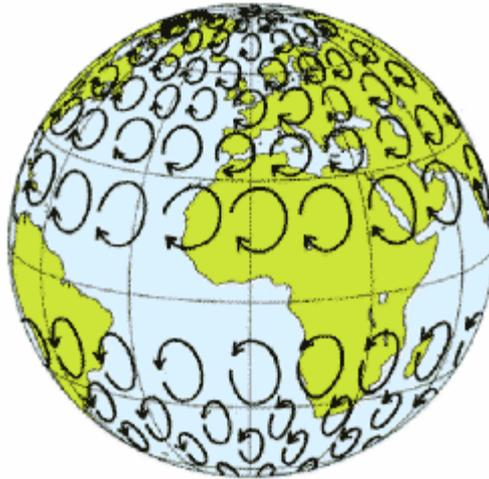


Fig. 4.5 Esquema del movimiento que tendría el aire sometido exclusivamente a la fuerza de Coriolis

4.4 Panorama de la energía del viento en el mundo

El potencial técnico de la energía terrestre del viento es muy grande de 20000×10^9 - 50000×10^9 kWh por año contra el consumo anual total actual de la electricidad del mundo de alrededor 150000×10^9 kWh. El potencial económico depende de factores como la velocidad del viento media, distribución estadística de la velocidad del viento, intensidades de la turbulencia y el costo de la turbina del viento. Los países con la energía eólica instalada más alta son: Alemania 16500 MW, España 8000 MW, los Estados Unidos 6800 MW, Dinamarca 3121 MW y la India 2800 MW. Estos cinco países producen el casi 80% de instalación total de la energía del viento por todo el mundo. Un número de países, incluyendo Italia, Países Bajos, Japón y el Reino Unido, están cerca de los 1000 MW.

4.5 Las turbinas eólicas

Las turbinas eólicas son dispositivos que, mediante su rotación, convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Suelen clasificarse según el tipo de fuerza aerodinámica que provoca el giro del rotor. Así, hay turbinas que son impulsadas por la fuerza de arrastre aerodinámico y otras por la fuerza de sustentación aerodinámica. Las primeras se caracterizan por su operación con elevado par aerodinámico y baja velocidad. Esto es, la velocidad tangencial de las palas es menor a la velocidad del viento. Por otro lado, las turbinas de alta velocidad están impulsadas por la fuerza de sustentación aerodinámica, y tienen el mismo principio de funcionamiento que los perfiles alabes de los aviones. Las turbinas generadoras de electricidad modernas son de este último tipo, principalmente debido a su mayor eficiencia. Las turbinas suelen ser clasificadas también de acuerdo a la disposición de su eje de rotación. Las más comunes son las turbinas de eje horizontal, que constan de una, dos o tres palas. Tienen la ventaja de que las palas están situadas a elevada altura, con lo cual la velocidad media del viento es mayor, y la intensidad de turbulencia es menor, que a nivel del terreno. Las turbinas de eje horizontal pueden clasificarse a su vez según la disposición del rotor, que puede estar ubicado por delante o por detrás de la torre. También existen turbinas de eje vertical; éstas tienen la ventaja de que no requieren mecanismos de orientación. Además, el generador y la caja de engranajes se encuentran a nivel del terreno, facilitando el montaje y mantenimiento.

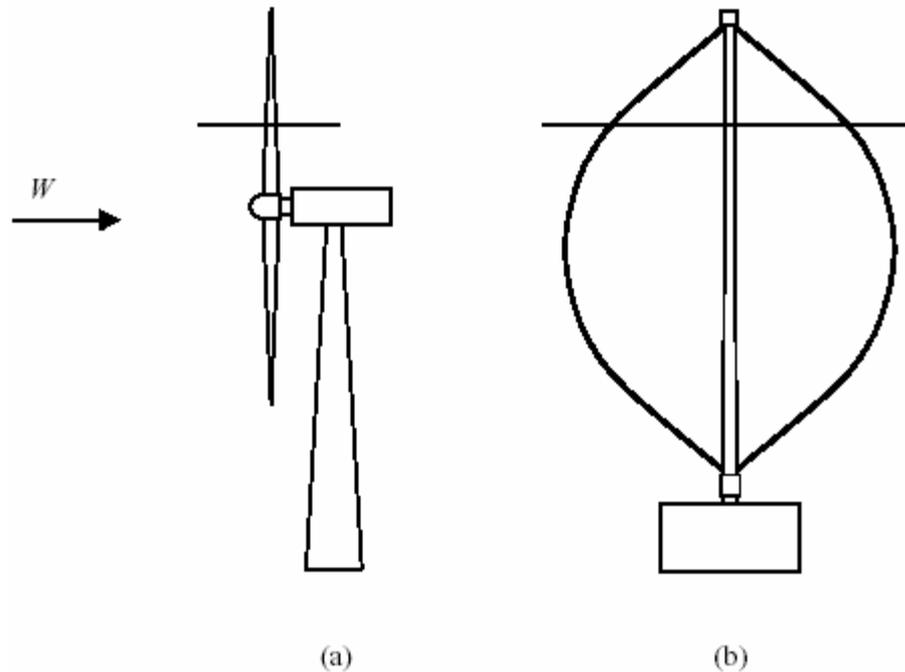


Fig. 4.6 Turbinas de eje (a) horizontal y (b) vertical

Sin embargo, tienen una seria desventaja: el par aerodinámico varía fuertemente con la posición de las palas, aún con viento constante. Ésta es una importante causa de fatiga de las palas y del sistema de generación, y de serios problemas de calidad de la potencia suministrada.

TIPO	EJE	FUERZA	USO	VEL.	EFI.	PAR
BI Y TRIPALA	Hor.	Sust.	Electricidad	Alta	0.42	Bajo
DARRIEUS. H	Ver.	Sust.	Electricidad	Alta	0.40	Bajo
MULTIPALA	Hor.	Arras.	Electricidad y bombeo	Baja	0.30	Alto
SAVONIOUS	Ver.	Arras.	Bombeo	Baja	0.15	Alto

Tabla 4.2 Características de las turbinas eólicas más comunes

4.5.1 Funcionamiento de un Aerogenerador

El aerogenerador consta de varias partes un esquema general de cómo funciona el aerogenerador esta dado por la siguiente figura:

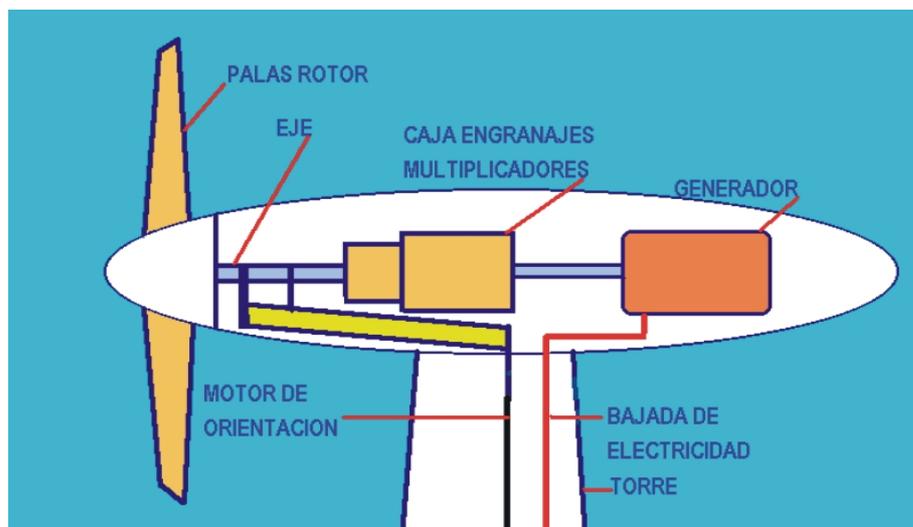


Fig. 4.7 Esquema general de un aerogenerador

Palas del rotor: Es donde se produce el movimiento rotatorio debido al viento.

Eje: Encargado de transmitir el movimiento rotatorio.

Caja de engranajes o Multiplicadores: Encargados de cambiar la frecuencia de giro del eje a otra menor o mayor según dependa el caso para entregarle al generador una frecuencia apropiada para que este funcione.

Generador: Es donde el movimiento mecánico del rotor se transforma en energía eléctrica.

Además de estos componentes básicos se requieren otros componentes para el funcionamiento eficiente y correcto del aerogenerador en base a la calidad de servicio de la energía eléctrica, alguno de ellos son:

Controlador electrónico: que permite el control de la correcta orientación de las palas del rotor, también en caso de cualquier contingencia como sobrecalentamiento del aerogenerador lo para.

Unidad de refrigeración: Encargada de mantener al generador a una temperatura prudente.

Anemómetro y la Veleta: Cuya función están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente.

Están conectadas al controlador electrónico quien procesa estas señales adecuadamente.

4.6 Potencia y energía disponibles en las turbinas eólicas

Como la mayoría de las personas saben el viento no siempre se mantiene constante en dirección y valor de magnitud, es más bien una variable aleatoria, algunos modelos han determinado que el viento es una variable aleatoria con distribución Weibull como la que muestra la siguiente figura

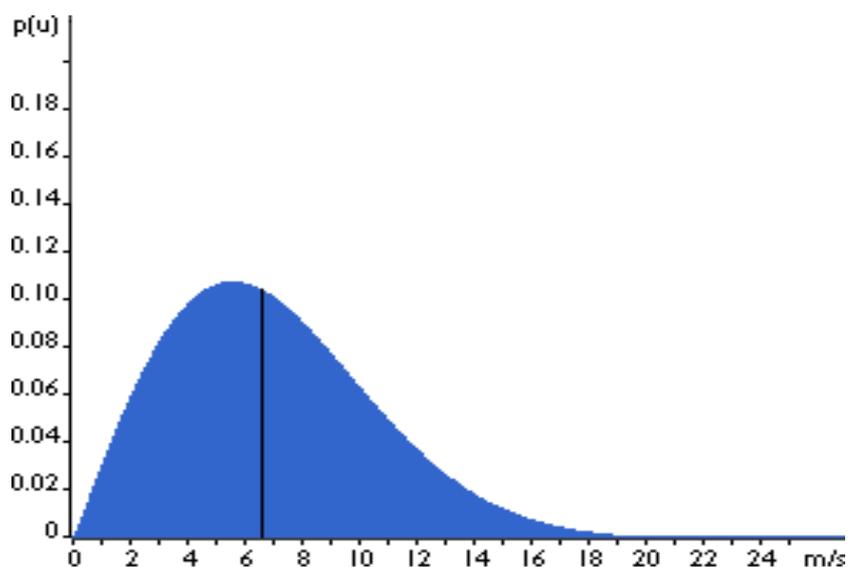


Fig. 4.8 Distribución Weibull

Para calcular la potencia promedio que es **aprovechada** por el rotor debemos usar la llamada ley de Betz. Supongamos que la velocidad a la que entra el viento al tubo de corriente es de valor V_1 y a la velocidad que sale es de V_2 , podemos suponer que la velocidad a la que el viento entra al aerogenerador es de $\frac{V_1 + V_2}{2}$.

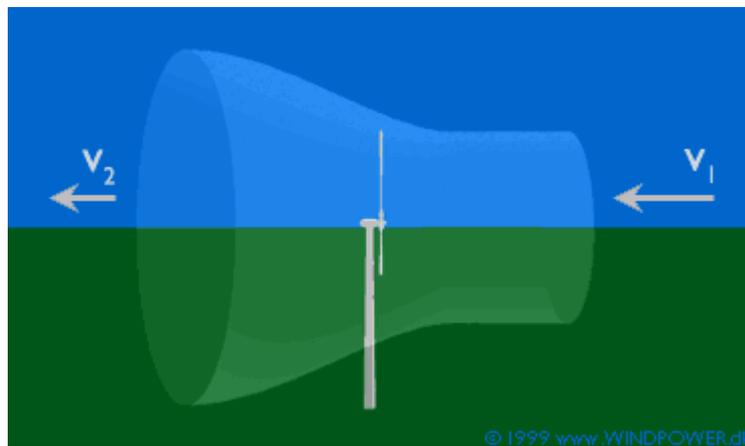


Fig. 4.9 Aerogenerador en un tubo de flujo

El flujo másico que entra al rotor entonces tiene valor de:

$$M = \rho A \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$

Dado que en tubo de corriente se debe conservar la potencia, la potencia que entra a velocidad V_1 tiene que ser igual a la suma de la potencia que sale a velocidad V_2 y la que se va por el rotor. Entonces la potencia que se

va por el rotor es: $P_{\text{rotor}} = \frac{1}{2} M (V_2^2 - V_1^2)$

Y reemplazando la masa nos queda:

$$P = (\rho/4)(v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2) A$$

La potencia que lleva el viento antes de llegar al rotor viene dado por:

$$P_0 = (\rho/2)v_1^3 \times A$$

Ahora si la comparamos con la potencia que lleva el viento nos da la siguiente grafica:

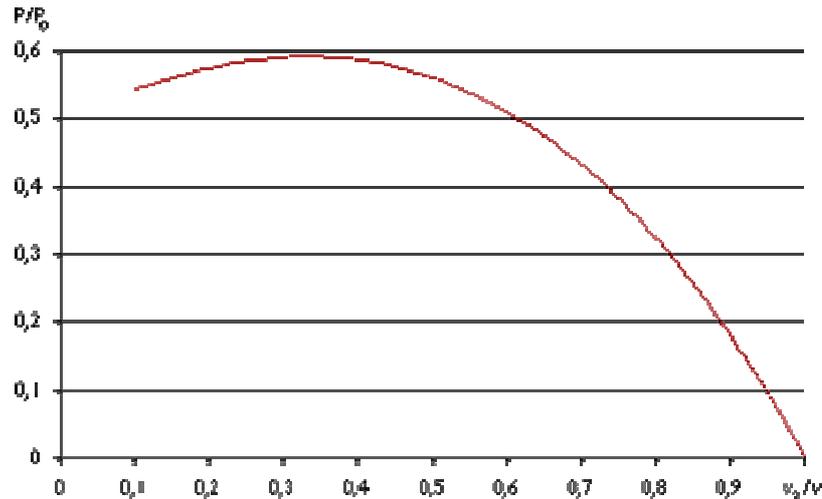


Fig. 4.10 Gráfica P/P_0 Vs. V_2/V_1

Cuyo máximo viene dado por 0.59 aproximadamente, es decir la máxima potencia que se puede extraer del viento es de 0.59 veces esta potencia.

Existe otra manera de demostrar la ley de Betz, donde se hacen operaciones algebraicas y se utilizan conceptos de máximos y se deriva, obteniéndose de esta operación el valor máximo de $16/27$ ó 0.593.

El grafico siguiente, muestra las potencias del viento, la extraída por el rotor y la potencia transformada a electricidad. La extraída por el rotor esta limitada por la ley de Betz y la transformada a electricidad esta limitada por la eficiencia del generador. Como la potencia entregada dada por el generador eólico depende de la velocidad del viento la eficiencia va ha depender también de la velocidad del viento registrándose eficiencias máximas del orden de 44%.

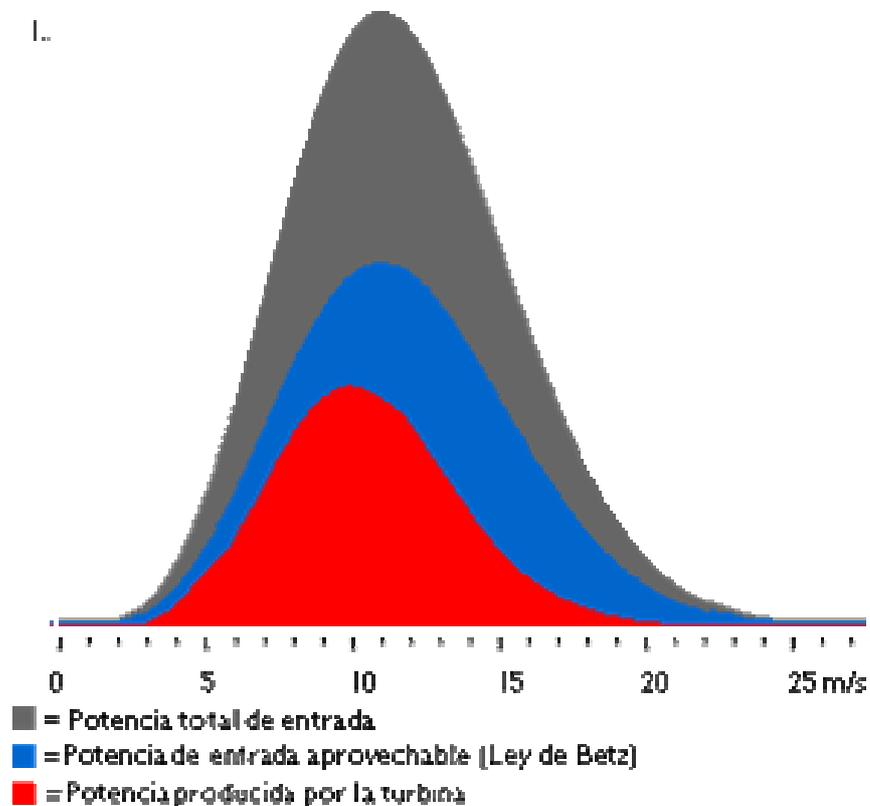


Fig. 4.11 Comparación entre las potencias

Hay que tener además bien en claro que para la lograr una eficiencia alta como la que sale aquí es necesario muchos gastos que aumentarían el costo de producir un kW. mas, por lo tanto máxima eficiencia no implica menor costo de generación. La energía eléctrica disponible en un aerogenerador viene dada por sus curvas de potencia. Supongamos que se tiene un aerogenerador, un ejemplo, caso danés de 600 Kw. de potencia. Los fabricantes por lo general entregan la Curva de energía eléctrica disponible versus las velocidades a diferentes parámetros de la distribución de Weibull:

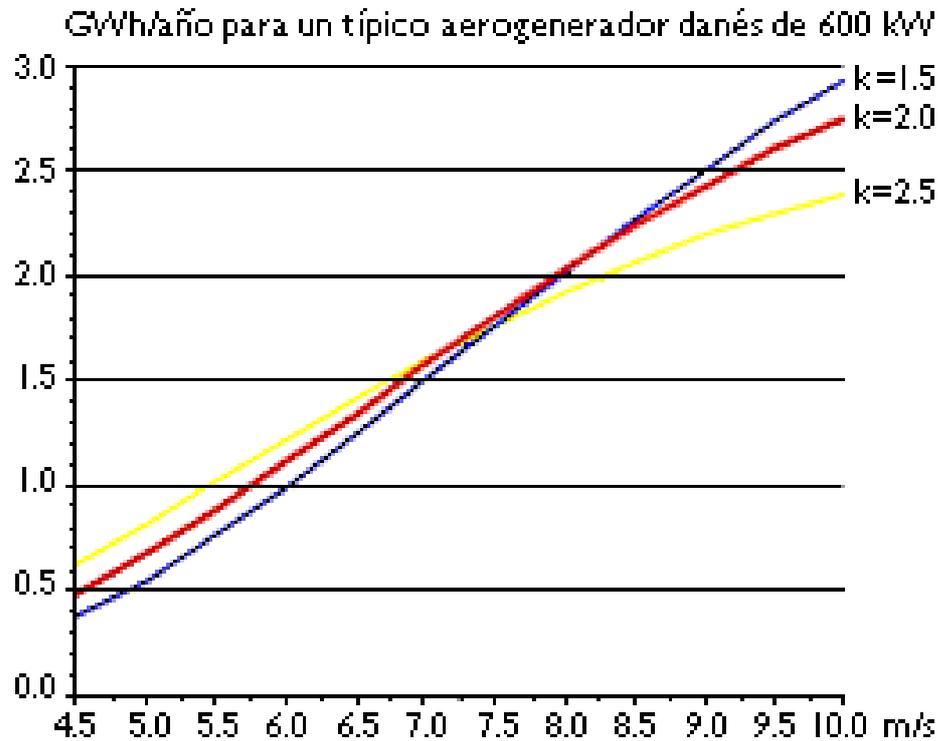


Fig. 4.12 Curvas de energía para un generador Danés de 600 kW

Los distintos colores representan las distintas distribuciones probabilísticas de los vientos en año a distintas velocidades, uno esperaría que a medida que aumentamos la velocidad la energía debería estar a una función cúbica de esta, sin embargo esto no se produce ya que la eficiencia de los aerogeneradores no es constante, por lo tanto la tendencia es más bien lineal.

4.7 Sistemas de conversión en la energía eólica

A continuación presentaremos la composición de los sistemas de energía eólica.

4.7.1 Composición de los sistemas de conversión de energía eólica con conexión a red

Los sistemas de conversión de energía eólica (SCEE) están compuestos por una turbina que extrae la potencia del viento y la convierte en potencia mecánica en el eje. Éste a su vez impulsa un generador que suministra potencia eléctrica a la red. Los generadores más utilizados en aplicaciones eólicas son los sincrónicos y los de inducción, mientras que los generadores de continua no se han difundido, principalmente debido a razones de confiabilidad asociadas a esta aplicación.

Frecuentemente, se intercala en el eje una caja de engranajes, a fin de adecuar las velocidades de la turbina y del generador. En algunas configuraciones, a los efectos de optimizar el desempeño de los SCEE, la potencia eléctrica del generador no es directamente suministrada a la red, sino que es total o parcialmente procesada por un convertidor electrónico. Los SCEE constan además de mecanismos de frenado, de orientación con el viento (turbinas de eje horizontal) y, ocasionalmente, de mecanismos de ajuste del ángulo de torsión de las palas. Finalmente, una unidad de control supervisa el comportamiento del SCEE.

Los SCEE se agrupan, según su modo de operación, en sistemas de velocidad constante y de velocidad variable. También suelen clasificarse según el tipo de red eléctrica al que son conectados. Ésta puede ser una red de alcance nacional o regional, o bien una red autónoma. En este último caso, el SCEE suele formar parte de un sistema híbrido de generación, por ejemplo de un sistema eólico-diesel.

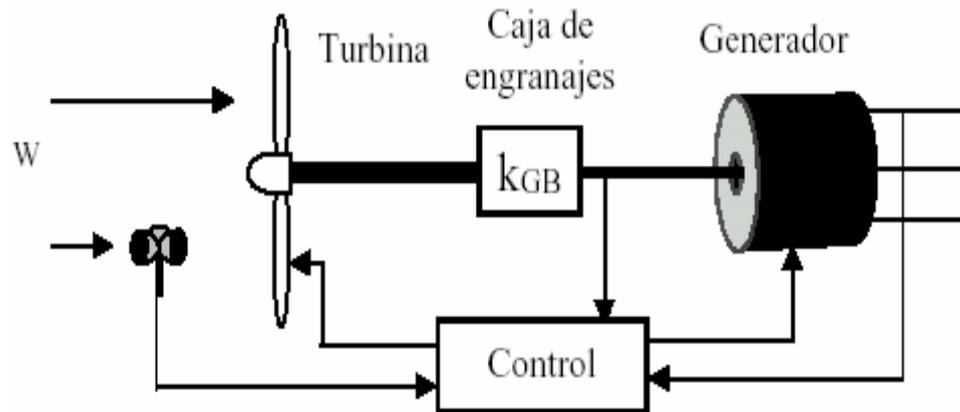


Fig. 4.13 Composición de un sistema de conversión de energía eólica

4.7.2 SCEE de velocidad constante

Los SCEE deberían operar a velocidad variable a los efectos de maximizar su rendimiento de conversión. Sin embargo, la mayoría de los SCEE instalados hasta este momento operan a velocidad fija. La razón principal ha sido su menor costo inicial y mayor confiabilidad en comparación con los sistemas de velocidad variable. El diseño más económico de un SCEE de velocidad fija, para su instalación en un lugar con una distribución de probabilidades del viento y una intensidad de turbulencia, puede obtenerse seleccionando apropiadamente la forma de las palas, las velocidades de viento de puesta en marcha, nominal y de corte, y la potencia nominal de la instalación. La velocidad nominal del viento W_N es aquella para la cual la potencia capturada es igual a la potencia nominal P_N del sistema de conversión.

4.7.3 SCEE de velocidad variable

A los efectos de que los SCEE puedan operar de manera asíncrona de la red, es necesario emplear convertidores electrónicos de potencia. A pesar de la mayor complejidad y el mayor costo inicial de los SCEE de velocidad variable, éstos presentan interesantes ventajas respecto a los sistemas de velocidad fija.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN BOSQUE EÓLICO DE 40 MW EN LA LOCALIDAD DE MALABRIGO

5.1 Características del emplazamiento

Para justificar el emplazamiento, donde funcionará el bosque eólico de 40 MW, se ha utilizado documentación del proyecto piloto de la Central Eólica de Malabrigo que tiene una potencia instalada de **250 kW**.

En el Perú y específicamente ADINELSA, cuenta con dos proyectos pilotos: Malabrigo y Marcona; ambos han provisto de información óptima, útil para el desarrollo de nuevos proyectos de generación eléctrica con potencias de mayor envergadura.

El siguiente paso en este tipo de proyectos es la sensibilización de los diversos organismos e instituciones pertinentes en la importancia de contar con un "**Marco Legal**" apropiado que favorezca e impulse la inversión de empresas nacionales y extranjeras en proyectos de generación eléctrica con energías renovables, en especial con la energía eólica.

5.1.1 Antecedentes

- En 1989, Electroperú S.A. inició los estudios de investigación de energía eólica en el litoral del Perú definiendo la potencialidad eólica en Puerto Chicama (Malabrigo, Departamento de La Libertad), San Nicolás y San Juan de Marcona (Departamento de Ica).
- En 1996 la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas implementó los proyectos piloto de Malabrigo de 250 kW, y en 1999 el proyecto piloto San Juan de Marcona de 450 kW.
- Posteriormente ambos proyectos fueron transferidos a ADINELSA el año 2000.
- Los resultados obtenidos se deben al procesamiento de datos de velocidad de viento registrados en cada una de las Centrales Eólicas. Desde el año 1996 (Malabrigo) y 1999 (San Juan de Marcona).

5.1.2 Central Eólica de Malabrigo

Con una aerogenerador de 250 kW fabricado en Dinamarca, marca MICON, desde el año 1996 viene operando en forma normal, se ha cumplido con los mantenimientos de acuerdo al fabricante, sin embargo el año 2002 se efectuó el cambio de rodamientos del generador y mantenimiento del mismo en un taller especializado en Lima, para ello se ha requerido grúas de gran tonelaje superando los costos normales por mantenimiento preventivo; asimismo, se está efectuando un mantenimiento adicional por efectos de la corrosión debido a la contaminación ambiental muy severa del lugar.

Por las condiciones de operatividad y habiéndose presentado el menor número de fallas comparadas con la Central Eólica San Juan de Marcona, se puede decir que ha cumplido exitosamente con las expectativas de un Proyecto Piloto; asimismo, se ha acopiado información suficiente que servirá de referencia para nuevos proyectos.

5.1.3 Generación de energía eléctrica en la central eólica

La generación de energía está íntimamente ligado al régimen y la frecuencia de la velocidad del viento y sus variaciones máximos y mínimos históricos, la energía producida de la Central Eólica de Malabrigo es comercializada a Hidrandina S.A. mediante un convenio de administración. Los resultados de generación de energía eléctrica y horas de funcionamiento obtenidos a la fecha de la elaboración del presente documento, se muestran en la siguiente Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Generación de Energía

	Horas de funcionamiento acumuladas (Horas)	Energía acumulada a mayo del 2004 (kWh)	Energía promedio mensual (kWh)
Central Eólica Malabrigo	57 907	4 509 683	48 320
Central Eólica San Juan de Marcona	14 040	3 445 850	110 175

La energía eléctrica generada por la Central Eólica es entregada a la sub estación de Malabrigo en barras de 10 kV de propiedad de Hidrandina S.A. el promedio de generación de energía mensual durante los 7 años es de

48320.0 kWh. La energía acumulada a mayo 2004 es de 4 509 683.0 kWh con 57 907 horas de funcionamiento.

5.1.4 Factor de Capacidad (FC)

El registro acumulado desde la fecha de funcionamiento de la máquina han dado los siguientes resultados del FC: Malabrigo : 35 %

En Europa (Alemania) las instalaciones promedio evaluadas tienen un Factor de Capacidad de 21 %, lo que hace que las instalaciones peruanas estén en mejores condiciones técnicas, por lo tanto económicas que las instalaciones europeas.

5.1.5 Potencial eólico registrado

La evaluación del potencial eólico se ha efectuado en Malabrigo, la velocidad promedio registrado a una altura de 30 m aproximadamente oscila entre 3 a 17 m/s tal como se puede observar en la curva de velocidad media horaria cuyos valores son superiores a 6 m/s

Los parámetro promedios estadísticos de promedio anual de Weibull registrados a 30 m de altura, son los siguientes

$V_{promedio} = 8.00 \text{ m/s}$

$K_{Weibull} = 3.38$

$C_{Weibull} = 8.05 \text{ m/s}$

Dirección predominante = Sur

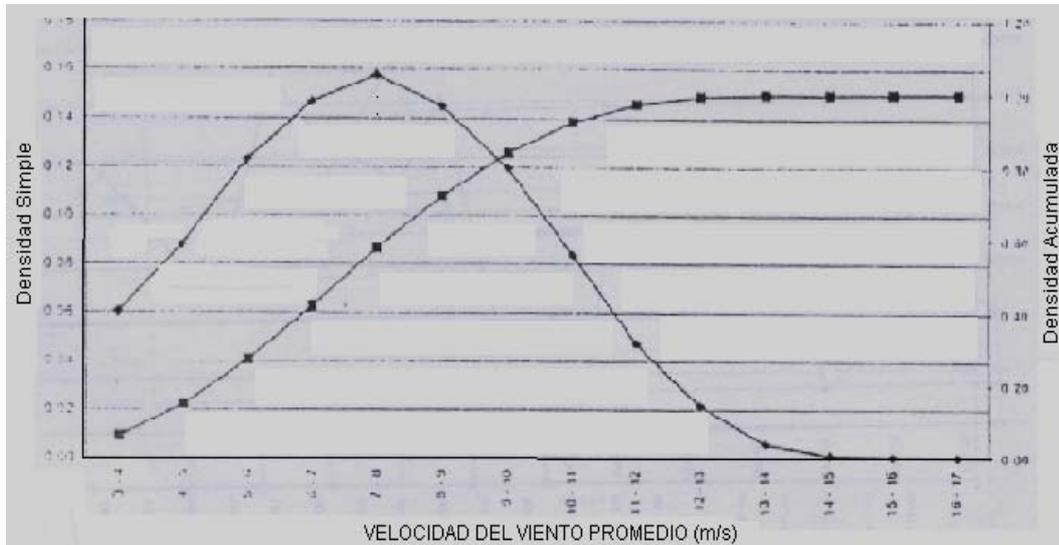


Fig. 5.1 Velocidad del viento promedio Vs. densidad simple – Malabrigo

5.2 Memoria del Bosque eólico

Como consecuencia del encarecimiento del precio del petróleo en el período, se produce un resurgimiento de la tecnología del aprovechamiento de viento, que lleva a la aparición de los actuales aerogeneradores capaces de producir electricidad a precios competitivos con las fuentes tradicionales energéticas, partiendo de una fuente natural, renovable y no contaminante.

En vista de que los precios de la energía subirán a medio plazo y el clima se verá cada vez más amenazado se puede pronosticar que las energías renovables tendrán buenas perspectivas de mercado en el futuro. De hecho, constituirían el gran reto tecnológico del siglo XXI.

La energía eólica representa hoy en día una de las fuentes energéticas más baratas y con una tecnología de aprovechamiento totalmente madura, a la par que competiría con las fuentes tradicionales de producción energética.

5.2.1 Energía eólica

Durante este siglo se notará el problema asociado al carácter limitado de las reservas de petróleo y gas natural. Pero antes de que la energía se encarezca significativamente por su escasez, el uso de combustibles fósiles se tendrá que reducir por los impactos ambientales asociados a estos combustibles. Según un estudio de "Crecimiento sostenible" realizado para el año 2050, el 50% de la demanda de energía se podría satisfacer con fuentes renovables. La Unión Europea, consciente de esta situación, ha creado condiciones favorables para fuentes renovables de energía en muchos países. En noviembre de 1977, la Comisión Europea redactó un documento estratégico con el objeto de fomentar las fuentes renovables de energía. En él se prevé que la cuota de fuentes generativas de energía se duplique hasta el año 2010, pasando de un 6% (año base: 1995) a un 12%.

En lo que se refiere al fomento de energías renovables, Alemania ocupa una posición de país pionero por su sistema de retribución (8.72 cent. €/kW eólico frente a 6.26 cent. €/kW en España), que ha creado un entorno excelente para la explotación de energía eólica y para el desarrollo de la tecnología correspondiente (más de 5000 MW de potencia instalada a finales del 2000 y una tendencia creciente del orden del 30% anual). Dentro de la Unión Europea, le siguen España y Dinamarca.

El 30 de diciembre de 1999 se aprobó el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España para el período 2000-2010 con el fin de que estas energías pudieran cubrir el 12 % del consumo de energía primaria en el año 2010.

5.2.2 Descripción general del Bosque eólico proyectado

El Bosque Eólico consta de 16 máquinas distribuidas en 2 hileras cuasi paralelas según la dirección sur. El bosque proyectado se encuentra ubicada en Malabrigo, provincia de Ascope departamento de La Libertad.

En el futuro esperamos que en nuestro país las instalaciones que utilicen la energía eólica como energía primaria puedan acogerse a una nueva condición de acceso a un régimen especial, creado con el fin de promover las energías renovables.

Este Bosque está diseñado de forma que la energía eléctrica producida en los aerogeneradores a 660 V se eleve a 34.5 KV en transformadores instalados en el interior de las propias torres y se lleve mediante cables enterrados en canalizaciones, hasta la subestación de salida del parque.



Fig. 5.2 Ubicación de la localidad de Malabrigo

5.2.3 Evacuación de la energía

La energía producida en el parque se evacuará a través de línea de transmisión denominada L-3344, al sistema interconectado. Este parque por sus características y bajo nivel de ruido, será de tipo abierto, sin ningún cierre, por lo que podrá ser objeto de visitas para la promoción respectiva del ecoturismo en ese lugar.

5.2.4 Características del emplazamiento. Criterios de selección.

Para la elección de emplazamiento de este Bosque eólico se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

1. Un buen recurso eólico - Tal y como se ha mencionado anteriormente, la instalación de otras estaciones de medición, además de la propia del Bosque de Malabrigo corroboraran el excelente potencial eólico en la zona.
2. Accesibilidad. Es importante poseer caminos de acceso hacia la instalación y evitar, en lo posible la construcción de nuevos viales que harían disminuir la rentabilidad económica de la inversión.
3. Evacuación. Es importante que exista próximo al emplazamiento una línea eléctrica de evacuación de la energía.

El caso del Bosque Eólico de 40 MW, además de poseer un buen recurso eólico, el acceso hacia la instalación está perfectamente definido. Únicamente sería necesario acondicionar las pistas existentes.

En cuanto a la evacuación de la energía eléctrica, la línea L-3344 pasa por las inmediaciones del Bosque.

5.2.5 Variación vertical del viento

En general el perfil vertical de velocidades no es constante con la altura. Debido al rozamiento con la superficie terrestre, la velocidad es menor cerca del suelo y tiende a aumentar según se asciende.

Los datos de vientos son medidos a una altura determinada sobre el nivel del suelo. El software empleado utiliza la fórmula empírica:

$$V_H = V_h \left(\frac{H}{h} \right)^{1/7}$$

Que relaciona la velocidad del viento y la altura. Siendo esta la más utilizada en proyectos similares, donde $h_0 = 10$ m y $H = 80$ m, que es la altura aproximada de la torre. Para la potencia extraída

$$P = C_p \rho A V^3$$

Comparando la energía anual a una altura de H y h :

$$\frac{P_H}{P_h} = \frac{\frac{1}{2} C_p A V_H^3}{\frac{1}{2} C_p A V_h^3} = \left(\frac{H}{h} \right)^{3/7} = 2.438$$

Esto nos indica que la producción anual se incrementa en un 143.8 %, cuando es proyectada a una altura de 80 m.

5.2.6 Selección de las turbinas de viento

Se ha escogido el aerogenerador Nordex N80/2500 de 2500 kW de potencia, con un diámetro de superficie barrida de 80 m y una altura de buje de 80 m. En general, la mejor disposición consistiría en ubicar el menor número de máquinas en la dirección paralela a los vientos predominantes y el mayor número en la dirección perpendicular. Sin embargo, es importante

tener en cuenta el efecto que los aerogeneradores ejercen entre sí, llamado efecto estela. Se utilizara turbinas con hélice de 3 álabes, ya que son usadas en la mayoría de instalaciones de energía eólica en el mundo. La posición del rotor delante de la torre se hace con una dirección forzada al viento (ángulo de instalación prefijada), cuando la velocidad del viento aumenta por encima del diseño, se emplea unos frenos aerodinámicos, llamados SPOILERS, en los extremos de los alabes que dejan pasar el viento y mantiene a una velocidad de rotación constante y una potencia fija. Todas las instalaciones de energía eólica son para la generación de energía eléctrica y van conectados a la red de distribución eléctrica. También la variación de la velocidad aumenta la potencia en forma cúbica.

$$\frac{P1}{P2} = \frac{\frac{1}{2}\rho AV_1^3}{\frac{1}{2}\rho AV_2^3} \Rightarrow \frac{P1}{P2} = \left(\frac{V1}{V2}\right)^3$$

La Producción anual de una instalación de energía eólica se determina en base de sus características de trabajo, la potencia en función de la velocidad y la distribución del viento en el lugar de la instalación.

5.2.7 Disposición de los Aerogeneradores

Una turbina de viento no puede permanecer cerca de otra debido a que se crean efectos aerodinámicos negativos, cada turbina debe tener una distancia de separación no menor de 8 veces el diámetro del rotor de la turbina, en la dirección más probable del viento.

La turbina tiene un rotor de 80 m de diámetro, por consiguiente la distancia mínima de separación entre dos turbinas de la misma potencia debería ser

de 640 m. En casos donde la dirección del viento es constante, es posible reducir el área instalada.

La disposición de las turbinas en el terreno será en 2 columnas con una separación mínima de 5 veces (400 m) el diámetro de la turbina entre columnas y 4 filas teniendo la separación de 8 veces el diámetro de la turbina entre fila y fila (640 m).

En total serán 16 unidades de 2500 kW de potencia nominal, la instalación eléctrica para el proyecto será en paralelo.

5.2.8 Potencia del Bosque eólico

Malabrigo reúne las condiciones mas favorables para la utilización de la energía eólica, se encuentra en las regiones donde los vientos alcanzan altas velocidades. La potencia que puede suministrar una maquina eólica va a depender directamente de algunas condiciones como:

- La densidad del aire
- El cubo de la velocidad del aire que atraviesa al rotor
- El aire barrido por el rotor

Entonces la energía (P) aprovechable, conducida por una masa de aire fluida a una velocidad (V) se puede expresar como:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Pd: potencia disponible

Potencia teórica máxima:

$$P_{tm} = \frac{16}{27} P_d$$

Potencia al eje: $P = \eta P_{tm}$

Donde: η : Eficiencia total de los alabes del aerogenerador

$\eta = \eta_h \cdot \eta_m$;

η_h : Eficiencia aerodinámica

η_m : Eficiencia mecánica

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

C_p : Factor de potencia, este factor indica la fracción de energía del viento que se puede transformar en energía mecánica.

Este factor C_p para las turbinas eólicas rápidas con perfiles aerodinámicos de 3 alabes esta en el rango de de 0.45 a 0.49.

Para el proyecto se utilizo la formula empírica:

$$V_H = V_h \left(\frac{H}{h} \right)^{1/7}$$

que relaciona la velocidad del viento y la altura.

5.2.9 Cálculo de la Potencia a generar

Para realizar el cálculo de la potencia del generador Nordex N80/2500 de 2500 KW, en la localidad de Malabrigo tomaremos en cuenta las siguientes condiciones:

Datos del aire:

- Temperatura 19 °C
- Altitud 34 m.s.n.m.

Debido a que el proceso de cálculo requiere la integración de la curva de Weibull multiplicada por la curva de potencia del generador a usarse, utilizaremos una herramienta computacional que calcule los parámetros que necesitamos para nuestro análisis económico, mediante el uso del “Programa de cálculo de la potencia de un aerogenerador” que se encuentra en la página Web de www.windpower.org



Fig. 5.3 Logo de Wind Power

CALCULATOR

Datos del emplazamiento

Datos de densidad del aire
 °C temp a m de altitud (= kPa de presión) kg/m³ de densidad

Datos de distribución del viento en el emplazamiento
 parámetro de forma de Weibull
 m/s de velocidad media del viento = parámetro de escala de Weibull
 m de altura, Longitud de rugosidad m = clase de rugosidad

Datos del aerogenerador kW
 m/s de velocidad de conexión, m/s de velocidad de corte
 m de diámetro de rotor, m de altura de buje

Nota: la altura del buje difiere de la altura de medición del viento

Calcular
Volver al ejemplo
Densidad de potencia

Curva de potencia
Coeficiente de potencia

Fig. 5.4 Datos de entrada al programa computacional

a) Datos de distribución del viento en Malabrigo:

Los datos aquí presentados se obtuvieron de las mediciones de Adinelsa a una altura de 30 m.

- El Parámetro de forma de Weibull, tomará el valor de 3, debido a que el programa computacional limita este valor.
- La velocidad media del viento de 8 m/s
- Clase de rugosidad 1, por existir edificaciones muy dispersas o sólo colinas suaves.

b) Datos del aerogenerador

- Marca Nordex
- Modelo N80/2500
- De 80 m de altura del buje

Estos datos son procesados por el programa y obtenemos los siguientes resultados.

Resultados de la potencia de salida en el emplazamiento	Resultados de la potencia de salida de la turbina
Potencia de entrada* <input type="text" value="644"/> W/m ² de área de rotor	Potencia de salida* <input type="text" value="216"/> W/m ² de área de rotor
Max. potencia de entrada a* <input type="text" value="12.1"/> m/s	Energía producida* <input type="text" value="1893"/> kWh/m ² /año
velocidad media del viento a la altura del buje* <input type="text" value="9.1"/> m/s	Energía producida* <input type="text" value="9517548"/> kWh/año
	Factor de carga* <input type="text" value="43"/> por ciento

Fig. 5.5 Resultados del programa computacional

Tabla 5.2: Datos de la curva de potencia del aerogenerador Nordex N80/2500

Curva de potencia del aerogenerador							
m/s...	...kW		m/s...	...kW		m/s...	...kW
1	0		11	1658		21	2500
2	0		12	1984		22	2500
3	0		13	2264		23	2500
4	15		14	2450		24	2500
5	120		15	2450		25	2500
6	248		16	2470		26	0
7	429		17	2500		27	0
8	662		18	2500		28	0
9	964		19	2500		29	0
10	1306		20	2500		30	0

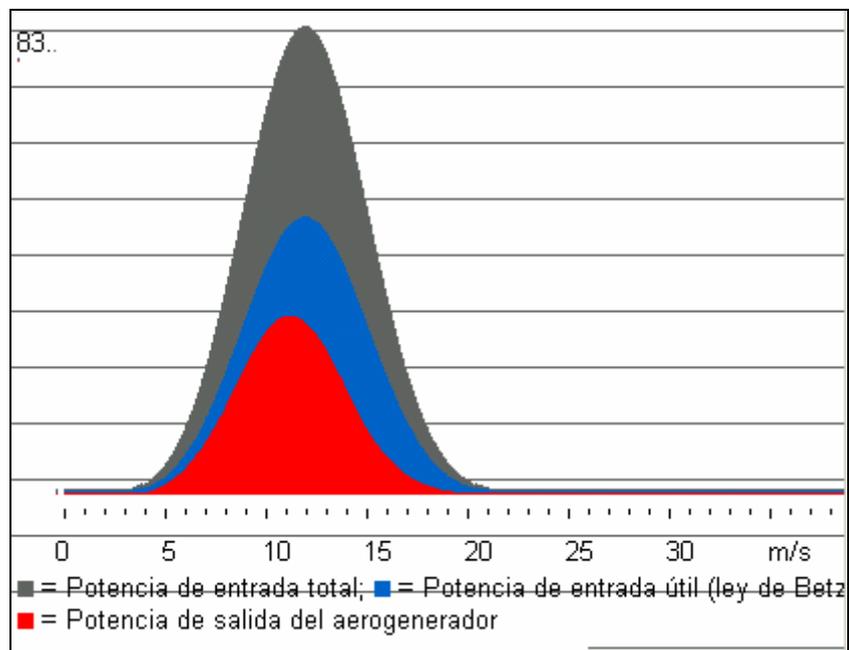


Fig. 5.6 Densidad de potencia del aerogenerador Nordex N80/2500

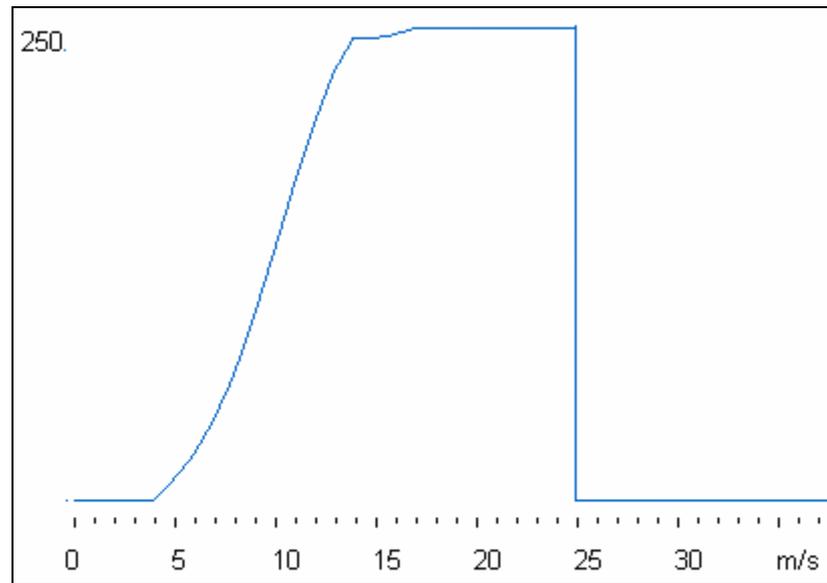


Fig. 5.7 Curva de potencia del aerogenerador Nordex N80/2500

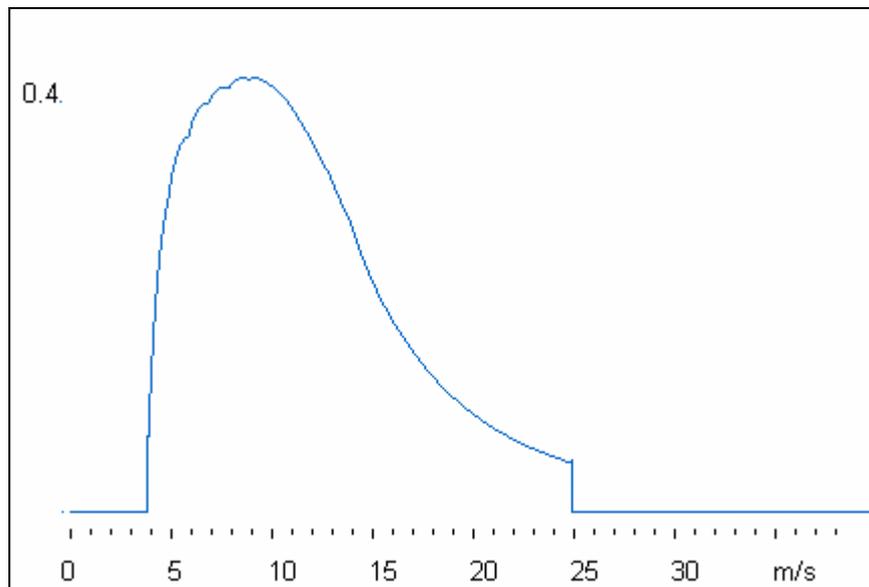


Fig. 5.8 Coeficiente de potencia del aerogenerador Nordex N80/2500

5.2.10 Obra Civil

En esta parte se detallará a manera de cultura general las descripciones de las obras civiles necesarias para la construcción del Bosque eólico.

La obra civil necesaria para la construcción, puesta en marcha y explotación del bosque eólico, requerirá de los siguientes planos y documentos:

- Apertura, preparación y acondicionamiento de las pistas.
- Apertura, tendido de cables y tapado de las zanjas de interconexión de aerogeneradores.
- Cimentación de los ocho aerogeneradores.
- Edificio auxiliar: edificio de control y subestación.
- Zanjas para el cableado interno y cimentaciones de los centros de transformación.

5.2.11 Análisis eléctrico del Bosque eólico

Es importante señalar que en este proyecto no se ha contemplado el estudio y diseño de la subestación de transformación por entenderse que es competencia exclusiva de la compañía distribuidora de la zona donde se ubique el bosque eólico.

El sistema eléctrico del parque eólico tiene su origen en el generador instalado en cada torre, cuyo objeto es transformar en energía eléctrica, la energía mecánica proveniente del rotor del aerogenerador. La energía eléctrica producida por el generador, en forma de corriente alterna trifásica de 60 Hz a una tensión de 660V, es elevada a 34.5 kV mediante un transformador instalado en el interior de la base de la torre donde se ubica el generador. La energía transformada a 34.5 kV se evacua, desde cada torre, mediante una línea enterrada a través de una canalización que unirá las torres entre sí. Se efectuará la interconexión de cada uno de los 16 grupos

de aerogeneradores, mediante las celdas correspondientes que también se instalarán en el interior de las torres, llevándose las líneas ya agrupadas hasta la subestación, evitando así la instalación de casetas en el interior del bosque eólico parque, excepto la de control del mismo, que llevará las cabinas de media tensión que servirán de protección y control de los grupos. La conexión a la línea de salida de energía se hará por medio de otra cabina que también la protegerá contra defectos. También se instalará una Unidad Remota de Telecontrol (RTU) para comunicar órdenes, señales y medidas de potencia, intensidad y tensión con el parque eólico de Malabrigo vía telefónica.

También se requerirán:

- Servicios auxiliares de corriente alterna
- Servicios auxiliares de corriente continua
- Red de tierras

CAPÍTULO VI
EL DOCUMENTO DE DISEÑO DEL PROYECTO

6.1 Descripción General

Nombre del proyecto	:	Bosque eólico de Malabrigo
Potencia Instalada	:	40 MW
Tipo de Turbina	:	N80/2500
Altura de la torre	:	80 m
Velocidad del viento (30m):	:	8 m/s
Lugar	:	Malabrigo – Trujillo
Descripción del lugar	:	Temperatura promedio de 19 °C
Ubicación de las turbinas	:	En dos filas paralelas
Periodo de construcción	:	2007 – 2008
Interconexión	:	2008
Factor de carga	:	43%
Energía anual producida	:	150 672 000 kWh

6.2 Aplicación de la metodología de línea Base

6.2.1 Introducción

La energía cinética del viento es transformada en energía mecánica mediante las llamadas turbinas eólicas, una vez transformada la energía mecánica en el eje de la turbina eólica, es posible utilizarla en una serie de aplicaciones acoplando las maquinas adecuadas y generar el bombeo de agua o la generación de electricidad. En el Perú existen dos experiencias particularmente interesantes sobre la utilización de la energía eólica, estos son los casos de Miramar en Piura y Pachacutec en Arequipa (ambas de bombeo de agua), además existen una serie de unidades (molinos de viento) para bombeo de agua de procedencia extranjera en diversos lugares del país, en el Perú no existe una evaluación global del recurso eólico, sin embargo son destacables los esfuerzos realizados por una serie de instituciones y se puede dar un aproximado de la potencia energética de nuestro país. Los departamentos con áreas a ser aprovechadas para bosques eólicos son: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, se estima un promedio del 2 % del área de cada departamento que resulta 4654 km aprovechables.

Bosques Eólicos

Los bosques eólicos son un conjunto de aerogeneradores ubicados en una determinada área cuya suma total representa la potencia instalada de la

central eólica, como referencia los diseños de bosques eólicos con turbinas de 750 kW, se estima una densidad superficial de potencia 14 MW/km², es decir, un potencial energético probable de **65156 MW** en el Perú.

Tabla 6.1: Contenido promedio de carbono en algunos combustibles

Combustible Primario	Contenido de Carbono (tC/Tj)
Petróleo crudo	20
Gas natural (seco)	15.3
Líquido de gas natural	15.2
Antracita	26.8
Carbón	25.8
Lignito	27.6
Combustible Secundario	Contenido de carbón (tC/Tj)
Gasolina	18.9
Gas natural (puro metano)	14.5
Jet queroseno	19.5
Queroseno	19.6
Gas/ Diesel	20.2
Residual	21.1
GLP	17.2
Etano	16.8

Líneas de base

Caso: Desplazando emisiones del Sistema Interconectado

La central eólica de 40 MW, despachara su energía desplazando la que pudieran producir otras centrales del sistema. El análisis del despacho con el proyecto se iniciará en el año 2008 y su producción desplazará a una igual cantidad de energía producida por centrales térmicas. La proyección del despacho de energía se basa en el hecho de que desplazará a las centrales con costos marginales mayores.

Si se compara la línea de base con el caso “con el proyecto”, se apreciara que la central desplazará a una mezcla de fuentes energéticas térmicas

compuestas por centrales que utilizan como combustible el diesel, el petróleo residual, el Carbon y el gas natural.

Tabla 6.2: Factores de emisión de dióxido de carbono para algunas tecnologías

T de CO ₂ – Equivalente / GWh	
Gas natural	
Turbina de combustión / ciclo simple	676.7
Ciclo combinado	415.3
Carbon	
Turbina a vapor	955.2
Diesel	
Motor diesel pequeño	1,004.00
Motor diesel mediano	836.6
Motor diesel grande	716.9
Turbina de combustión / ciclo simple grande	838.4
Turbina de combustión / ciclo simple mediano	931.5
Bunker - C	
Turbina a vapor	774.9

El proyecto entrará en operación el 2008 por lo que los GEI dejados de emitir podrán ser contabilizados a partir de ese año, los factores de emisión de la centrales térmicas se pueden tomar de los valores por defectos determinados por el IPCC, ya que no se disponen de factores de emisión propios del país.

Para el Sistema Interconectado Nacional, el factor de emisión actual es de alrededor de 0.7 tCO₂e por MWh. Se espera que este factor se reduzca, ya que la mayoría de las plantas térmicas a petróleo serán reemplazadas por gas natural. En el 2017, el Banco Mundial estima que el factor de emisión será de alrededor de 0.44 tCO₂e por MWh.

Como promedio para los siguientes **10** años se puede usar un factor de emisión de entre **0.57** y 0.85 tCO₂e por MWh.

Para calcular la emisión por central térmica se utiliza la siguiente formula:

$$Emisiones = \sum Energía\ producida \times Factor\ de\ Emisión$$

Luego se realiza el cálculo para el caso peruano, se estableció que se dejara de emitir 85883.04 tCO₂e ([150672 MWh] x 0.57 tCO₂e) al año, lo que significa que por cada MWh producida por la central eólica y entregada a la red se dejara de emitir 0.57 tCO₂e.

$$Emisiones = 85.88\ ktCO_2e/año$$

6.3 Duración de la actividad del Proyecto

Debido que dentro de los procedimientos podemos pedir dos periodos de 7 años, aquello extiende nuestros ingresos por ventas de certificado de reducción de emisiones CERs, debido a ello nuestro proyecto tendrá 14 años de tiempo de vida.

6.4 Estimación de emisiones GEI

Se deja de emitir:

$$Emisiones = 85.88\ ktCO_2e/año$$

En 14 años, dejaremos de emitir: **1202.32 ktCO₂e**

6.6 Impacto Ambiental

6.6.1 Visual

Se originan por el impacto ecológico, producción de ruido, impacto visual, etc. En la etapa de construcción, las empresas constructoras deberán de cumplir reglas de saneamiento mínimas, se debe de contar con una supervisión ambiental para tomar datos de vegetación al iniciarse los trabajos de construcción del proyecto.

Es necesario que se tenga algunas medidas de rehabilitación, como proteger y reforzar la formación de vegetación en las bases de los postes especialmente en los terrenos inclinados. Los diseños que se utilicen deberán contener componentes arquitectónicos, que permitan estos acordes con el paisaje del lugar. El impacto visual va a depender del lugar donde están instalados y además considerando la aceptación visual de los lugareños; además de la forma de la turbina de viento. El bosque eólico tiene un mejor impacto visual en zonas desoladas. En algunos casos se ha observado que el color de la turbina de viento, influye para la aceptación pública. Como la energía del viento representa algo relativamente nuevo, es importante brindar una buena información técnica acerca de las características de la turbina y comprometen a los lugareños de una adecuada administración y mantenimiento de la planta.

6.6.2 Ruido

Típicamente una turbina de viento de un tamaño grande opera a una velocidad de 40 rpm – 50 rpm y un tamaño mediano de 30 rpm – 50 rpm.

Las instalaciones del bosque eólico estarán ubicadas a kilómetros del centro poblado por tanto su percepción será mínima y cuando entre en funcionamiento, el efecto del ruido sobre la población será nulo, ya que el ruido que produce las turbinas es comparable al que produce las motocicletas, (100 dB).

Existen 2 tipos de ruidos principales en las turbinas de viento: - ruido mecánico y ruido aerodinámico.

Ruido mecánico: Es debido al movimiento de componente de la turbina, y la cantidad más significativa del ruido es debido a la caja de engranajes. Este tipo de ruido es considerado más importante que el ruido aerodinámico, sin embargo es el más fácil de evitar y de reducir, con mejores diseños, aislamientos y un buen mantenimiento.

Ruido aerodinámico: Es debido a la turbulencia del aire que crean vértices en las puntas de los álabes. Las fluctuaciones de cargas y ruidos irradiados son más intensos para bajas velocidades.

CAPÍTULO VII
ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 Resumen económico del proyecto

Para una potencia instalada de 40 MW la inversión será la siguiente:

Tabla 7.1: Resumen económico del proyecto

Fase		Coste Inversión k\$(US)	
0	Análisis previos	\$44.53	
1	Captación de terreno	\$89.07	
2	Medición y otros análisis	\$534.41	
3	Promoción	Proyectos	\$1,068.83
		Estudio medioambiental	\$44.53
		Otros estudios	\$44.53
		Seguimiento y gestiones de promoción	\$445.34
4	Licencias de obras	\$89.07	
5	Construcción	Aerogeneradores	\$30,951.42
		Infr. Eléc. del bosque	\$3,117.41
		Infr. Eléc. hasta conexión	\$3,562.75
		Infr. Civil	\$3,785.43
6	Ingeniería de Control	\$222.67	
Total		\$44,000.00	

Con este valor calculamos el costo unitario

$$costo_unitario = \frac{44000000US(\$)}{40000kW}$$

Costo unitario = 1100 US(\$)/kW

Consideremos para un análisis económico:

Intereses	:	6 %
Operación	:	1 %
Mantenimiento	:	2 %
Tasa de Depreciación:		3 %
Vida útil	:	20 años

Depreciación

$$D = \frac{d}{\left(1 + \frac{d}{2}\right)^{2n} - 1}$$

d = tasa de depreciación

n = vida útil

CF = Costo fijo

$$\mathbf{D = 3.68 \%}$$

$$CF = I + O + M + D$$

$$CF = 6 \% + 1 \% + 2 \% + 3.68 \%$$

$$\mathbf{CF = 12.68 \%}$$

Cm = Costo medio

$$Cm = 12.68\% \frac{(1100\$/kW \times P(kW))}{P(kW) \times 3766.8} = 0.037US(\$)/kWh$$

$$\mathbf{Cm = 0.037 US(\$)/kWh}$$

7.2 Indicadores económicos

Potencia Instalada	:	40 MW
Nombre del proyecto	:	Bosque eólico de Malabrigo
Tipo de Turbina	:	N80/2500
Altura de la torre	:	80 m
Tiempo de vida del proyecto:		20 años
Velocidad del viento (30m):		8 m/s
Lugar	:	Malabrigo – Trujillo
Energía real de salida(año):		150672000 kWh
Costo estimado del Bosque:		\$44 000 000.00 US(\$)
Costo unitario	:	1100 US(\$)/ kW

Tabla 7.2: Valores económicos del proyecto

Inversión US(\$)	\$44,000,000.00			
Pot(kW)	40000			
FC	0.43			
Horas al año	3766.8		Costo del kWh	US(\$)
Energía (kWh) x año	150672000	X	0.0872	\$13,138,598.40
Energía (MWh) x año	150672	Egresos	12.68%	-\$5,579,200.00
Factor tco2	0.57		Neto anuales	\$7,559,398.40
TCo2 anuales	85883.04			
Reducción de tCO2 14 años	1202362.56			

Tabla 7.3 Inversión del Proyecto

INVERSIÓN	US(\$)
Central eólica Malabrigo 40 MW	\$44,000,000.00
TOTAL (US\$)	\$44,000,000.00

Tabla 7.4 Egresos totales anuales en Operación, Mantenimiento, Intereses

AHORROS	US(\$)
Gastos en 12.68 % (Inversión)	\$5,579,200.00
Total	\$5,579,200.00

Tabla 7.5 Flujo de Caja de 20 años tiempo de vida del proyecto

Desembolso	-\$44,000,000.00
Ingreso Año 1	\$7,559,398.40
Ingreso Año 2	\$7,559,398.40
Ingreso Año 3	\$7,559,398.40
Ingreso Año 4	\$7,559,398.40
Ingreso Año 5	\$7,559,398.40
...	\$7,559,398.40
Ingreso Año 20	\$7,559,398.40

7.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

Con el flujo de caja de la tabla 7.5, tomamos un 12% de tasa de descuento, para analizar el proyecto, y procedemos a obtener el VAN (Valores en miles de dólares)

$$VAN(12\%) = -44000.00 + \frac{7559.398}{1.12} + \frac{7559.398}{1.12^2} + \frac{7559.398}{1.12^3} + \dots + \frac{7559.398}{1.12^{20}}$$

$$\mathbf{VAN(12\%)(US\$) = \$12\ 464\ 500.18}$$

De este análisis, obtenemos nuestro primer indicador dentro del rango de aceptación para proyectos de inversión, es importante la parte técnica, como la parte económica, no obstante el uso del indicador TIR (Tasa Interna de Retorno), es propicia para hacer la comparación de nuestro proyecto con otros similares.

7.2.2 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con el flujo de caja de la tabla 5.7, procedemos a obtener la TIR.

$$0 = -44000.00 + \frac{7559.398}{(1+i)} + \frac{7559.398}{(1+i)^2} + \frac{7559.398}{(1+i)^3} + \dots + \frac{7559.398}{(1+i)^{20}}$$

$$i = 16.34\%$$

La solución de esta ecuación, es sencilla para ella se puede hacer uso de iteraciones, métodos numéricos, etc.

7.2.3 Cálculo de la relación B/C

Para este cálculo, hacemos el respectivo análisis:

$$VAN(12\%) = -inversión + Beneficios \rightarrow Beneficios = VAN(12\%) + inversión$$

$$B/C = \frac{VAN(12\%) + inversión}{inversión} \rightarrow 1 + \frac{VAN(12\%)}{inversión} \rightarrow B/C = 1 + \frac{12464500.18}{44000000.00}$$

$$B/C = 1.2832$$

Con este resultado observamos que se encuentra dentro de los estándares de rentabilidad de los proyectos de inversión.

7.3 Ingreso económico por Bonos de Carbono

Para este cálculo utilizamos un valor de 10 \$/tCO₂e este dato lo obtenemos del comportamiento que tiene la tonelada de CO₂e cuya media tiende a este valor en www.pointcarbon.com

$$\text{Ingresos}_{\text{ por MDL}} = 1202362.56 \text{ tCO}_2\text{e} \times 10 \text{ US}(\$/\text{tCO}_2\text{e})$$

$$\text{Ingresos}_{\text{ por MDL}} = 12023625.00 \text{ US}(\$)$$

Hay que considerar que existen gastos por trámites, monitoreo y validaciones de los CERs estos gastos tienden a los 312033.00 US(\$) según la experiencia del Fondo Prototipo del Carbono – Banco Mundial.

El ingreso extra que se obtendría por este proyecto es de 11 711 592.00 US(\$)

EcoSecurities, probablemente la empresa más importante en MDL en el mundo, estima costos de transacción de alrededor de los 90000.00 US(\$) con base en tarifas de mercado de consultores especializados en MDL. La diferencia con el Banco Mundial radica, en los costos adicionales que incurre el Banco Mundial para aprobar proyectos. En ambos casos el Ingreso ayudaría a la promoción de proyectos de energías limpias.

CONCLUSIONES

1. La viabilidad de los proyectos peruanos de reducción de emisiones de GEI frente a la inversión inicial, exige que tengan menores costo de inversión; el uso apropiado de tecnología reduce notablemente estos costos de inversión.
2. La energía eólica es la segunda mejor opción energética de obtención de energía limpia después de la hidroeléctrica. El potencial eólico que tiene nuestro país casi no ha sido explotado, lo que brinda un mar de oportunidades a los interesados en esta tecnología.
3. Los costos que involucran el desarrollo y ejecución de proyectos MDL son altos, por ello los proyectistas que ingresen a este mercado tendrán, que estar bien preparados para enfrentar los estándares internacionales de acreditación.
4. La energía eólica es cara aún y para su promoción, requiere del incentivo del estado, este deberá promover el uso de las energías renovables con tarifas especiales como es el caso en España y Alemania, para nuestro

análisis económico se tomó la tarifa un valor de 8.76 cent US(\$)/kWh un valor cercano al de España.

5. Sin la implementación de las tarifas verdes, los proyectos de energías renovables resultan económicamente no rentables frente a las centrales térmicas.
6. El concepto de Desarrollo Sostenible nos involucra a todos; es el fin de este trabajo, promover el uso de las energía eólica que es una manera de generar electricidad de manera limpia y sin emisiones de GEI.

RECOMENDACIONES

1. El estado debe promover una nueva legislación que promueva el uso de energías limpias, para ello deberá establecer tarifas especiales que hagan rentables estos proyectos; sin este marco es difícil que se llegue al desarrollo de la energía eólica en el Perú.
2. Los proyectos de Bosques eólicos que se implementen deberán estar por encima de los 30 MW; bajo el concepto de economía de escala, a partir de este valor se vuelven rentables.
3. Se debe promover la investigación sobre los sistemas eléctricos de potencia, donde se analicen los Bosques eólicos y su influencia en la calidad de la energía cuando entren al sistema interconectado.
4. La implementación de SCADA en estos centros será de mucha utilidad para la reducción de los gastos en operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

1 Mantenimiento de Turbinas Hidráulicas en el Perú

AUTOR. VILLANUEVA URE, Reynaldo Año: 1979 TESIS FIM

2 Aerogenerador de 1 KW-diseño de la turbina.

AUTOR: VIZCARRA ECHENIQUE, Adolfo AÑO: 1991 TESIS FIM

3 Desarrollo de un prototipo experimental de un aerogenerador con una capacidad de 120 watts.

AUTOR: VELAZCO LORENZO, Dinau AÑO: 1994 TESIS FIM

4 Diseño de un modelo experimental de un aerogenerador de baja potencia para la zona Norte del Perú.

AUTOR: EGUILUZ HURTADO, Ciro Sócrates AÑO: 1998 INFORME FIM

5 Estudio de factibilidad de una central eléctrica con aero-generadores, para el sistema eléctrico del norte (Piura).

AUTOR: RAMIREZ VILLEGAS, Juan Bautista AÑO: 1999 TESIS FIM

6 Boletín Energético No. 14. OLADE, Cuernavaca (Mex.),1980.

7 Lorenzo Eguren para CEPAL, "El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: Balance y perspectivas".

8 Miller, G. T. 1991. Environmental Science, Sustaining the Earth. Wadsworth Publishing Company, USA. Tercera Edición. Pág. 465

9 Estrategia Nacional de cambio climático
CONAM 2002

10 Manual de energía eólica
José Escudero López

11 Wind Systems life cycle cost
J.M. Sherman

Paginas Web

1. www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima

BBC Mundo

2. <http://cambioclimaticoysuscausas.iespana.es>

Cambio Climático

3. www.coes.org.pe

Comité de operación económica del Sistema Interconectado Nacional

4. www.doc.mmu.ac.uk

GCCIP. 1997. Global Climate Change Information Programme.

5. www.fonamperu.org

Fondo Nacional del Ambiente - Perú

6. www.indeci.gob.pe

Instituto Nacional de Defensa Civil

7. www.law.pace.edu

Becker, Dan. 1997. Global Warming Central: Debate number three.

8. www.mimem.gob.pe

Ministerio de Energía y Minas

9. www.osinerg.gob.pe

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía

10. www.pointcarbon.com

Point Carbon

11. www.solucionespracticas.org.pe

ITDG, Soluciones Prácticas

12. www.somosamigosdelatierra.org

Amigos de la Tierra

13. www.unfccc.com

United Nations Framework Convention on Climate Change

14. www.windpower.org

Wind Power

ANEXOS

