



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE USO DE LA ENERGÍA  
EÓLICA PARA GENERAR ELECTRICIDAD EN MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO  
MÓDULO DE ELÉCTRICA DE POTENCIA

PRESENTA:

FERNANDO ENRIQUE REYES GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

M.A. VÍCTOR DAMIÁN PINILLA MORÁN



MÉXICO, D.F. ENERO DE 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en especial a mis padres por todo el apoyo brindado a lo largo de mis estudios profesionales. Por su comprensión y por alentarme en los momentos difíciles, por su amor, amistad y cariño que siempre me han demostrado.

Gracias papás, por toda la confianza brindada y por creer en mí !!!

A mi hermana, por motivarme y por el ejemplo de perseverancia, responsabilidad y trabajo. Gracias por tu amistad y cariño.

A mis abuelos, por sus consejos, cariño y cuidados.

Al Ing. Víctor Pinilla, tutor de mi tesis, por su invaluable apoyo y confianza. Por sus consejos, ideas y conocimientos, sin los cuales este trabajo no hubiera podido ser terminado.

A mi alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México y su Facultad de Ingeniería, por la inmejorable formación profesional recibida. Gracias a todos los profesores por compartir sus conocimientos, ideas y motivación.

A mis amigos y amigas de la Universidad por su apoyo y amistad.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Enero, 2008

## INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 1. PANORAMA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES</b>	
INTRODUCCIÓN	15
1.1 ANTECEDENTES DEL DESARROLLO EOLOELÉCTRICO EN EL MUNDO	16
1.1.1 Desarrollo eoloeléctrico moderno	17
1.1.2 Los aerogeneradores modernos	20
1.2 DESARROLLO EOLOELÉCTRICO EN EL MUNDO Y ESTRATEGIAS SEGUIDAS	20
1.2.1 Alemania	20
1.2.2 Dinamarca	22
1.2.3 España	23
1.2.4 Estados Unidos	24
1.3 ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO	25
1.3.1 Bionenergía	25
1.3.2 Energía Geotérmica	26
1.3.3 Energía Solar	28
1.3.4 Energía Hidráulica	28
1.4 ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO	29
1.4.1 Bioenergía	29
1.4.2 Energía Geotérmica	30
1.4.3 Energía Solar	31
1.4.4 Energía Hidráulica	32
1.4.5 Energía Eólica	33
Conclusiones	37
<b>CAPITULO 2. BASE TECNOLÓGICA E IMPLICACIONES</b>	
INTRODUCCIÓN	39
2.1 BASE TECNOLÓGICA	40

	<b>Página</b>	
2.1.1	Elementos de un aerogenerador	41
2.1.2	Subsistemas principales de un aerogenerador moderno	41
2.1.3	Configuración básica de una central eoloeléctrica	52
2.1.4.	Subestación principal de un parque eólico	54
2.2	<b>IMPLICACIONES TÉCNICAS</b>	<b>54</b>
2.2.1	Clasificación de aerogeneradores según velocidad angular del rotor y potencia de salida	56
2.2.2	Aspectos técnicos del emplazamiento	56
2.2.3	Producción de energía	57
2.2.4	Conexión a la red	58
2.3	<b>IMPLICACIONES SOCIALES</b>	<b>59</b>
2.3.1	Fuentes de empleo	59
2.3.2	Desarrollo regional	59
2.3.3	Seguridad pública	59
2.4	<b>IMPLICACIONES ECONÓMICAS</b>	<b>60</b>
2.4.1	Indicadores económicos principales en el ámbito internacional	61
2.5	<b>IMPLICACIONES AMBIENTALES</b>	<b>62</b>
2.5.1	Uso de suelo	62
2.5.2	Ruido	63
2.5.3	Impacto visual	64
2.5.4	Impacto sobre las aves	65
2.6	<b>IMPLICACIONES COMERCIALES</b>	<b>65</b>
2.7	<b>IMPLICACIONES ORGANIZACIONALES</b>	<b>68</b>
	Conclusiones	69
 <b>CAPÍTULO 3. CONCEPTOS SOBRE ESTRATEGIA Y TECNOLOGÍA</b>		
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>70</b>
3.1	<b>CONCEPTOS SOBRE ESTRATEGIA</b>	<b>71</b>
3.1.1	Planeación estratégica	71
3.1.2	Planeación estratégica, por el análisis de las condiciones actuales en la organización	78

	<b>Página</b>	
3.1.3	Planeación por análisis de las condiciones del pasado	79
3.1.4	Prospectiva	80
3.1.5	Otros elementos para desarrollar e integrar en el proceso de la planeación estratégica	81
3.1.6	Estructuración y evaluación de las estrategias	82
3.2	CONCEPTOS SOBRE TECNOLOGÍA	85
3.2.1	Condiciones generales para el desarrollo tecnológico	88
3.2.2	Determinación del paquete tecnológico	89
3.2.3	Líneas Tecnológicas	90
3.2.4	Innovación Tecnológica	91
3.2.5	Asimilación tecnológica	93
3.2.6	Propiedad intelectual	97
3.2.7	Vinculación Escuela – Industria	98
	Conclusiones	100
<b>CAPÍTULO 4. VISIÓN EOLOELÉCTRICA EN MÉXICO Y CONFORMACIÓN DE LA ESTRATEGIA</b>		
	INTRODUCCIÓN	101
4.1	VISIÓN EOLOELÉCTRICA EN MÉXICO	102
4.1.1	Estructura actual del marco regulatorio	103
4.1.2	Panorama organizacional de la Secretaría de Energía y la Comisión Federal de Electricidad como cabezas del sector eléctrico de México	106
4.2	MODELO DE LOS TRES VECTORES DETALLADO EN EL MOMENTO ACTUAL	107
4.2.1	Establecimiento del modelo de los tres vectores considerando los tres estadios en el tiempo. (Establecimiento del futuro deseado y de la brecha tecnológica)	114
4.2.2	Estudio PEST y matriz FODA	124
4.3	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE OPORTUNIDADES Y AMENAZAS	125
4.4	ESCENARIO INTEGRAL	126
4.5	ESTRATEGIAS FODA	127
4.6	GRADOS DE ASIMILACIÓN TECNOLÓGICA	129

	<b>Página</b>	
4.7	ESTRATEGIAS	132
4.7.1	Estrategias, DA a partir de la interrelación debilidades-amenazas	132
4.7.2	Estrategias, FO a partir de la interrelación fortalezas-oportunidades	133
4.8	IMPLANTACIÓN DE LA ESTRATEGIA	134
4.9	ELEMENTOS ORIENTADORES	137
4.9.1	Nuevo modelo de contrato de interconexión para las energías renovables	137
4.9.2	Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE)	138
4.9.3	Otras iniciativas	139
4.9.4	Fomento económico y financiero	140
4.9.5	Perspectivas	141
4.9.6	Algunos proyectos en curso para promover las energías renovables	142
4.10	CASOS DE ÉXITO	143
	Conclusiones	144
 <b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES</b>		
5.1	CONCLUSIONES FINALES	145

## INTRODUCCIÓN

La energía es la parte vital, el motor de la economía mundial y un requisito esencial para el desarrollo. En el mundo industrializado, los altos niveles de uso energético se han convertido en sinónimo de consumismo y modernidad, mientras que en las naciones en desarrollo, el mayor uso de energía está asociado con la satisfacción de necesidades humanas básicas. Proveyendo suficiente luz para alargar el día, proporcionando calor para cocinar, e impulsando una bomba para eliminar largas y agotadoras caminatas para ir a buscar agua, una pequeña cantidad de energía comercial es la llave para liberar a millones de seres humanos de la carga de la pobreza. La flagrante disparidad en el uso energético per cápita es un triste recordatorio de la magnitud de las injusticias en el acceso a servicios básicos.

Hace más de veinte años, investigadores del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) comenzaron a señalar al Sur del Istmo de Tehuantepec como la zona más promisoría del país respecto al potencial de aprovechamiento del viento para generar electricidad a gran escala. Asimismo, delinearon el potencial de beneficio de desarrollo económico y social que dicha actividad ofrecía desde entonces. Además, manifestaron que existía la oportunidad de desarrollar tecnología propia para dichos fines.

Hoy, la industria eoloeléctrica mundial es un gran negocio; ha creado decenas de nuevas empresas o líneas de producción y ha generado cientos de miles de empleos en varios países. Asimismo, ha impulsado el desarrollo económico y social en varias regiones en el mundo. El desarrollo tecnológico de aerogeneradores ha dado como resultado máquinas confiables y eficientes que se yerguen a sesenta o más metros de altura. No obstante, como en todo desarrollo tecnológico, día con día se encuentran nuevas formas o métodos para mejorar su desempeño, reducir costos, y ampliar su ámbito de aplicación, entre otros.

En México, a finales de la década de 1980 y principios de la década de 1990, algunos actores comenzaron a unirse a la idea de instalar centrales eoloeléctricas en el Istmo de Tehuantepec. Entre ellos se incluían algunas empresas privadas y un grupo reducido de la Comisión Federal de Electricidad. En 1994 la Comisión Federal de Electricidad logró contratar la construcción de la primera central eoloeléctrica en México, misma que se ubicó en las inmediaciones del poblado La Venta, Juchitán, Oaxaca. La experiencia operacional de la central eoloeléctrica La Venta, corroboró las proyecciones que los investigadores del IIE hicieron 10 años antes ¡En La Venta se pueden lograr factores de planta más altos en el mundo!

En gran parte, el reto de la energía para el desarrollo puede definirse por dos asuntos distintos pero relacionados: *acceso e impacto ambiental*.

Los diversos promotores de la generación eoloeléctrica en México, han constatado que los esfuerzos individuales y aislados no conducen a resultados positivos en el corto plazo. En realidad, es el trabajo en equipo y la sinergia lo puede permitir la eliminación de barreras para lograr que el desarrollo eoloeléctrico en México llegue a ser una realidad. El desarrollo eoloeléctrico en el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec es una oportunidad cuyo aprovechamiento cabal es impostergable, al menos por cuatro razones:

- a) Es necesario combatir la pobreza remanente en la región del Istmo de Tehuantepec.
- b) Las nuevas generaciones están esperando que se creen nuevas fuentes de empleo.
- c) Se requiere incrementar la capacidad de generación de electricidad en el País.
- d) La diversificación energética para el desarrollo sustentable es tema prioritario en la política internacional.

El objetivo general de el presente trabajo de tesis es:

*Definir una estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad en México.*

Teniendo como objetivos particulares los que siguen:

- *Hacer un estudio del estado actual y potencial de las energías renovables en México, para ofrecer una perspectiva de todas ellas.*
- *Investigar las implicaciones técnicas, económicas, comerciales, ambientales, sociales y de organización que trae consigo la construcción de una eoloeléctrica, y así tener conocimiento si es viable o no ésta tecnología en nuestro país.*
- *Investigar el proceso tecnológico de una eoloeléctrica, para assimilar ésta tecnología y así, reducir costos en la compra de equipo, mantenimiento, gastos de importación, etc.*

Este trabajo de tesis titulado *Definición de una estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad en México*, está dividido en cinco capítulos y presenta la síntesis del desarrollo eoloeléctrico en el mundo y las principales estrategias que han venido aplicando los países industrializados durante los últimos años para lograr el desarrollo tecnológico en materia de generación eoloeléctrica y su integración gradual a los respectivos sistemas eléctricos nacionales. De ello, resalta que los principales logros se han obtenido gracias a la formulación y ejecución de programas nacionales enfocados a lograr metas estratégicas concretas. Asimismo, señala que los gobiernos han establecido una serie de elementos favorables para impulsar el desarrollo eoloeléctrico, y que, con base en la amplia gama de beneficios directos e indirectos que están obteniendo, es evidente que han sido inversiones muy productivas.

También, el documento relata cómo varios países en vías de desarrollo están tomando ventaja de la experiencia global, adecuando las estrategias aplicadas en otros países a sus propias necesidades y oportunidades. A continuación se describe cada uno de los capítulos:

*Capítulo 1: Panorama de las energías renovables.* Habla de la historia de la energía eólica y de su desarrollo a través del tiempo mostrando una semblanza de lo que han hecho algunos países para aprovechar su recurso eólico.

*Capítulo 2: Base tecnológica e implicaciones.* Se detallan todos los aspectos que conlleva la implantación de la energía eólica, así como la tecnología utilizada en los aerogeneradores.

*Capítulo 3: Conceptos sobre estrategia y tecnología.* Se muestran los conceptos necesarios para la conformación de la estrategia, motivo de este trabajo.

*Capítulo 4: Visión eoloeléctrica en México y conformación de la estrategia.* Se describe el actual marco regulatorio para la generación de energía eléctrica; así como iniciativas y barreras que existen actualmente en nuestro país y a partir de ello se conforma la estrategia de uso de la energía eólica para generar electricidad.

*Capítulo 5: Conclusiones.* Conclusiones a partir de los objetivos del presente trabajo.

## CAPITULO 1. PANORAMA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

*Sólo cabe progresar cuando se piensa en grande,  
sólo es posible avanzar cuando se mira lejos.  
José Ortega Gasset*

### INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de hidrocarburos y los severos cambios climáticos que sufre el planeta por su excesivo uso hacen ver la necesidad de utilizar fuentes alternativas de energía, capaces de brindar mayor rendimiento, y que no produzcan daños ambientales tan graves como sus predecesores.

De esa forma, el carbón fue sustituido por petróleo y se espera que éste, a su vez, abra paso a las energías renovables. Incluso, los países desarrollados ya advirtieron la importancia del uso de los nuevos combustibles y están reforzando la investigación en torno a su almacenamiento, uso, distribución y diversas técnicas para producirlas más eficientemente.

Las energías renovables, llamadas también energías limpias por el reducido impacto ambiental que ocasionan en comparación con los hidrocarburos, constituyen una fuente de aprovechamiento inagotable, además de obtener una mejor eficiencia energética, más segura y autónoma; actualmente, la mayoría de los gobiernos de países industrializados han instaurado programas e incentivos que fomentan su desarrollo, ya que éste tipo de energías (principalmente la energía eólica) en la última década han demostrado ser una alternativa viable para complementar la generación de electricidad; para así tener menor dependencia de los hidrocarburos y diversificar la producción de electricidad. Las principales energías renovables son la solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotérmica y en un futuro no muy lejano, la obtenida del hidrógeno, la cual actualmente se sigue estudiando. El objetivo principal de las energías renovables (ER) es contribuir a satisfacer la demanda de electricidad de un país o de una región interconectándose a los sistemas eléctricos convencionales.

Actualmente, otro aspecto que ha contribuido enormemente al desarrollo de las energías renovables es el llamado Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático, el cual es un instrumento internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases provocadores del calentamiento global principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012. Según investigaciones realizadas, si éstas emisiones no disminuyeran el mundo entero colapsaría con cambios climáticos extremos, por lo cual una diversificación energética ayudaría a disminuir considerablemente estas emisiones de gases.

México tiene el reto de garantizar la viabilidad en el sector energético mediante la generación de proyectos sustentables en cantidad y calidad para seguir brindando el servicio que requiere el país en los próximos años, por esta razón se demanda la realización de proyectos que brinden opciones para enfrentar la crisis que padecerá el sector.

## 1.1 ANTECEDENTES DEL DESARROLLO EOLOELÉCTRICO EN EL MUNDO

El desarrollo de los aerogeneradores modernos, comenzó hace varios siglos con los antiguos molinos de viento que capturaban la energía cinética del aire con un rotor aerodinámico de pocas aspas y con un eje de rotación horizontal; algo sorprendente es que desde el año de 1850 en Los Países Bajos (Holanda) ya existían cerca de 9, 000 molinos de viento cuya potencia acumulada equivalía aproximadamente a 225 MW y que parte de ésta capacidad se usó para moler granos para así obtener harinas o aceites; <sup>1</sup> otra parte de esta energía fue utilizada en mecanismos de bombeo de agua para irrigar sus campos.

El pionero del desarrollo de los aerogeneradores fue el estadounidense Charles F. Brush quién en el año de 1888 inventó y construyó la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generar electricidad; la turbina contaba con un rotor que medía 17 metros de diámetro y que tenía 144 aspas hechas de madera. Debido al enorme tamaño que tenía, el rotor con aspas múltiples operaba a una velocidad muy pequeña, por ello la potencia de ésta turbina era de tan sólo 12 kW y se usaba para cargar baterías. Más tarde, Brush ideó un mecanismo de transmisión por banda con relación de 50:1 para así poder impulsar un *dinamo* a 500 revoluciones por minuto; aunque tuvo mejores resultados, el aerogenerador ideado por Brush dio muestras claras de que los rotores multiaspas no son la mejor opción para generar electricidad. <sup>2</sup>

Algunos años después, un profesor y científico danés llamado Poul la Cour adaptó el concepto de los molinos de viento de cuatro aspas para generar electricidad, por ello es reconocido como el precursor de la energía eólica.

Después de años de investigación, en 1891 la Cour comienza a trabajar en una estación experimental en Askov, Dinamarca, con la idea de crear un conjunto de reglas básicas para el diseño de rotores; seis años después, la Cour comenzó a tener éxito al desarrollar máquinas de hasta 25 kW diseñadas para ser usadas en sitios remotos y en la agricultura; para 1910, cientos de estas máquinas ya estaban operando en Dinamarca.

Para el año de 1918, unas 120 empresas locales tenían un aerogenerador de entre 20 y 35 kW, haciendo un total de 3 MW de potencia instalada; estas turbinas suministraban alrededor de un 3% del consumo de electricidad en Dinamarca en aquel momento. Sin embargo, el *boom* de la energía eólica en Dinamarca decayó en los años siguientes, aunque una crisis de suministro de electricidad durante la Segunda Guerra Mundial hizo que se afianzara. <sup>3</sup>

Entre los años 1940 y 1950 aparecieron nuevos modelos eoloeléctricos; uno de ellos fue el creado por el estadounidense F.L. Smidth en 1942. Esta máquina ya era muy parecida a las fabricadas hoy en día, al menos en concepto, ya que contaba con tres aspas y la torre era hecha de hormigón; para el año de 1951, el generador de CC (*corriente continua*) fue sustituido por un generador asíncrono de CA (*corriente alterna*), por lo que ésta segunda turbina ya generaba CA. <sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Asociación Danesa de la Industria Eólica. [www.windpower.org](http://www.windpower.org), consultada en Diciembre, 2006.

<sup>2</sup> Idem

<sup>3</sup> Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx), consultada en Febrero, 2007.

<sup>4</sup> Idem

Más tarde, por la década de los 50's, el ingeniero danés Johannes Juul, uno de los primeros alumnos de Poul la Cour en sus cursos para *electricistas eólicos*, desarrolló los primeros aerogeneradores que utilizaron corriente alterna (CA); Juul construyó entre 1956 y 1957 el que sería el aerogenerador más grande del mundo durante varios años, con una capacidad de 200 kW; este aerogenerador estaba compuesto por una turbina tripala con rotor a *barlovento*, tenía orientación electromecánica y además un generador síncrono, este diseño mostraba que su turbina disponía de *regulación por pérdida aerodinámica* y además tenía la característica de *frenos aerodinámicos de emergencia en punta de pala*, que eran soltados por la *fuerza centrífuga* en caso de sobrevelocidad; los cuales son los utilizados hoy día en las modernas turbinas de *regulación por pérdida aerodinámica*. La turbina de Juul, además de ser durante muchos años la más grande del mundo, increíblemente duró 11 años funcionando sin mantenimiento alguno.

Para el año de 1979, comienza una nueva crisis energética y con ello la construcción de dos aerogeneradores de 630 kW, uno con *regulación por cambio de ángulo de fase* y el otro de *regulación por pérdida aerodinámica*; pero estas turbinas llamadas *Nibe*, resultaron extremadamente caras y dieron pie a los primeros argumentos en contra de la energía eólica.<sup>5</sup>

### 1.1.1 Desarrollo eoloeléctrico moderno

Desde 1977, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) auspicia el Acuerdo para la Cooperación en la Investigación y Desarrollo de Sistemas de Generación Eoloeléctrica. Hasta el año 2006 se habían integrado 26 países y la mayoría de los gobiernos de los mismos habían establecido programas gubernamentales para apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico en el tema. Asimismo, en la gran mayoría de los países miembros del *Acuerdo Eólico de la AIE*, ya se han desarrollado y establecido elementos del marco legislativo y regulador que facilitan y apoyan la implantación de la generación eoloeléctrica.<sup>6</sup>

Entre 1980 y 1986, en California, Estados Unidos, se creó el primer mercado eoloeléctrico masivo que impulsó notablemente el desarrollo de la industria eoloeléctrica tanto en Estados Unidos como en Europa. En 1985 cerca de 95% de la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo estaba concentrada en California. Los fabricantes de aerogeneradores de Dinamarca, Reino Unido, Alemania, Japón y Los Países Bajos, compitieron en este mercado con los fabricantes de varias compañías estadounidenses.

En California, durante la década de 1980, se instalaron cerca de 15,000 aerogeneradores de los cuales la mitad provenía del mercado europeo, principalmente de Dinamarca. Así, durante esa etapa se diseñaron e instalaron diversos tipos de aerogeneradores, lo que convirtió a California en un inmenso centro de pruebas de aerogeneradores y centrales eoloeléctricas. Cabe mencionar que el desarrollo eoloeléctrico de los años 80 en California, se debió a generosos incentivos que otorgó el gobierno de ese estado; posteriormente, algunos llamaron a este desarrollo *The California Wind Rush (El precipitado viento de California)*, aludiendo a la precipitación con que se llevó a cabo, ya que se caracterizó por múltiples problemas tanto en los aerogeneradores como en los

<sup>5</sup> Asociación Danesa de la Industria Eólica. [www.windpower.org](http://www.windpower.org), consultada en Diciembre, 2006.

<sup>6</sup> International Energy Agency. [www.iea.org](http://www.iea.org), consultada en Febrero, 2007.

métodos utilizados para diseñar las centrales eoloeléctricas. Es importante tomar en cuenta que en aquel tiempo la capacidad promedio de los aerogeneradores era tan sólo de 100 kW.<sup>7</sup>

A finales de la década de 1990, el diseño danés (eje horizontal, tres aspas) se mejoró para producir aerogeneradores con capacidad nominal de hasta 250 kW. En esta etapa, las compañías que dominaron el mercado eoloeléctrico fueron las que fabricaban los aerogeneradores en los que se usa el *método de desprendimiento de flujo* para regular la velocidad de rotación y la *potencia eléctrica de salida*.

De 1990 a 1996, el tamaño promedio de los aerogeneradores comerciales se incrementó de 200 kW a 500 kW. A finales de 1996 la industria eoloeléctrica contaba con aproximadamente 6,000 MW instalados. A finales de 1997 se producían en el mundo más de 7,000 MW eoloeléctricos conectados a sistemas eléctricos convencionales. En Europa, durante 1997, el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica instalada fue mayor que 1,000 MW; para finales del mismo año la capacidad eoloeléctrica en Europa llegó a más de 4,000 MW instalados. Es importante indicar que en ese año más del 95% de la capacidad eoloeléctrica instalada en la Unión Europea estaba concentrada en sólo seis países (Alemania, Dinamarca, Los Países Bajos, Reino Unido, España y Suecia), cuya superficie acumulada significa cerca del 60 por ciento del territorio mexicano.<sup>8</sup>

Para 1998 ya se habían instalado los primeros 10,000 MW de capacidad eoloeléctrica en el mundo. Tan sólo en ese año se instalaron 2,590 MW eoloeléctricos que representaron un incremento de 31% respecto a la capacidad total instalada; de estos 2,590 MW, en Europa se instalaron 1,766 MW mientras que en los Estados Unidos se instalaron 577 MW y los demás en el resto del mundo.<sup>9</sup>

Cuando concluyó 1999, se contaba con cerca de 13,900 MW eoloeléctricos instalados en el planeta. En algunos lugares, la generación eoloeléctrica ya había alcanzado niveles significativos de penetración; por ejemplo, 10% de la electricidad que se consumía en Dinamarca ya provenía de la energía del viento. En algunas zonas de Alemania, se tenía 15% de penetración eoloeléctrica. La provincia de Navarra, en España, ya satisfacía el 23% de su consumo de electricidad con la energía producida por cientos de aerogeneradores instalados en las cimas de sus sierras.<sup>10</sup>

En el año 2000, se instalaron cerca de 4,600 MW eoloeléctricos en el mundo lo que para la industria eoloeléctrica representó ventas anuales de por lo menos cuatro mil millones de dólares. En ese año se logró incrementar la capacidad instalada a 18,500 MW de los cuales 13,000 MW se encontraban en Europa. De esta última cifra, Alemania tenía casi la mitad (6,113 MW) mientras que en España había 2,402 MW y en Dinamarca 2,297 MW.<sup>11</sup>

En el año 2001, la capacidad eoloeléctrica en el mundo se incrementó notablemente con la instalación de 6,800 MW (poco más de 18 MW por día). Tanto el mercado alemán como el mercado estadounidense crecieron en el rubro de manera considerable. Con un índice

---

<sup>7</sup> Idem

<sup>8</sup> Primer documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec. Autores: Marco A. Borja Díaz, Oscar Jaramillo Salgado, Fernando Mimiaga Sosa. Ed. IIE, 2003

<sup>9</sup> Ibídem 6

<sup>10</sup> Idem

<sup>11</sup> Idem

de crecimiento de 52% en el año 2001, la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo se acercó a 23,000 MW que generaron alrededor de 50 TWh/año.<sup>12</sup>

A finales de 2002 la capacidad eoloeléctrica acumulada en el mundo era cercana a 31,000 MW. A finales del 2003 la industria eoloeléctrica contaba con 37,000 MW instalados. Con el propósito de llamar la atención sobre el volumen de negocio que esto significa, considérese que para finales del 2003 la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo ya era comparable con la capacidad total de generación instalada en México. Actualmente (2006) a nivel global, se tienen instalados cerca de 60, 000 MW eólicos.<sup>13</sup>



**F. L. Smidth**



**Turbinas Vester Egeborg**



**La turbina Riisager**



**La máquina Tvind**



**Bonus 30 kW**

**Figura 1. Turbinas Aerodinámicas en la historia.**<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Idem

<sup>13</sup> BTM Consult ApS. International Wind Energy Development. <http://www.btm.dk>

<sup>14</sup> Asociación Danesa de la Industria Eólica. [www.windpower.org](http://www.windpower.org), consultada en Diciembre, 2006.

## 1.1.2 Los aerogeneradores modernos

### Aerogeneradores *offshore*

En los últimos años se ha utilizado la energía eólica marina, particularmente en países con una población considerable con respecto a su extensión territorial. Los costos de construcción son muy superiores en el mar, pero también lo es la producción de energía. Por ejemplo algunos de los *parques eólicos offshore* de Dinamarca producen entre 160 y 158 MW, cada aerogenerador tiene una capacidad de generación de 2 MW aproximadamente. La producción anual de electricidad de estos parques eólicos es suficiente para proporcionar la energía de 145,000 hogares daneses; sus torres son de una altura de unos 70 m, y las palas tienen una longitud de 41 m.

### El futuro de las turbinas

Sin lugar a dudas hoy en día, las máquinas de 600 y 750 kW son las que más abundan, aunque el mercado de los megawatts despegó en 1998. Las máquinas del tamaño de megawatts son ideales para las aplicaciones marinas, y para las áreas donde escasea el espacio para emplazarlas, pues una máquina de un megawatt explotará mejor los recursos eólicos locales.

Como ejemplo tenemos el prototipo de la turbina NEG Micon de 2 MW que está pensada para aplicaciones marinas para sacarle el mayor provecho posible a sus condiciones; fue puesta en funcionamiento en agosto de 1999. Este aerogenerador tiene un rotor de 72 m de diámetro y está montada sobre una torre de 68 metros. Además las palas del rotor pueden variar su ángulo de paso, dado que la máquina dispone de *regulación activa por pérdida aerodinámica*.

Más tarde es puesta en marcha la turbina *Bonus 2 MW* en el año de 1998 en Alemania; y tiene un diámetro de rotor de 72 metros el cuál está montado sobre una torre de 60 m. Esta turbina también está pensada para aplicaciones marinas, y dispone de un control de potencia *Combi Stall o por regulación activa por pérdida aerodinámica*.

Otro prototipo más es el de la turbina Nordex de 2,5 MW, el cual comenzó a funcionar en el año 2000 en Alemania; su diámetro es de 80 metros y cuenta con una altura de torre igualmente de 80 metros y con un *control por variación del ángulo de paso*.<sup>15</sup>

## 1.2 DESARROLLO EÓLICO EN EL MUNDO Y ESTRATEGIAS SEGUIDAS

### 1.2.1 Alemania

Alemania comenzó a apoyar el desarrollo tecnológico para aprovechar la energía eólica desde 1974, mediante una serie de programas desarrollados por el gobierno de ese país, cuyos principales objetivos siguen estando vigentes y son: conservar los recursos energéticos no renovables, asegurar el suministro de energía y proteger al medioambiente.

---

<sup>15</sup> ADIE. Asociación Danesa de la Industria Eólica. <http://www.windpower.org>, consultada en Diciembre, 2006

De 1983 a 1992 el Gobierno Alemán apoyó la construcción de 214 aerogeneradores que acumularon 14.5 MW, con lo cual fue creado el programa *250 MW Wind* en 1989, mismo que sigue aún vigente y cuyo propósito es el de llevar a cabo, durante varios años, pruebas, evaluación y mejora continua de aplicaciones de la tecnología eólica en escala industrial.<sup>16</sup>

Para noviembre de 1994 había 1,255 aerogeneradores instalados que estaban adscritos al programa *250 MW Wind*; en conjunto acumulaban 233 MW con un promedio de 185 MW de capacidad nominal; en este mismo año, cerca de 90% de la energía producida por estos aerogeneradores era alimentada a la red eléctrica pública; el resto se destinaba al autoabastecimiento.<sup>17</sup>

El Gobierno Alemán creó subsidios, cuando la energía producida era entregada a la red eléctrica pública: se recibía un subsidio de 3.87 centavos de dólar por kWh y si la energía producida se destinaba para autoabastecimiento entonces el subsidio era de 5.10 centavos de dólar por kWh; también crearon un subsidio a la inversión que podía llegar hasta 25% y las instituciones gubernamentales de crédito otorgaban préstamos favorables con tasas de interés rebajadas y cierto número de años sin pago requerido, por consiguiente, el programa *250 MW Wind* tuvo mucho éxito.<sup>18</sup>

En 1999 el Gobierno Alemán reglamentó las energías renovables creando una ley específicamente para ellas. Entre los principales puntos que considera dicha ley se encuentran:

- Los operadores de la red eléctrica tienen la obligación de dar prioridad de acceso a toda generación de electricidad proveniente de fuentes de energía renovable.
- Una tarifa fija para compra de electricidad proveniente de cada una de las fuentes de energía renovable.
- Reglas para la conexión a la red y refuerzo de la red.
- Un mecanismo para compartir equitativamente los costos de tarifa entre todos los operadores de la red (*arreglo de cuota de renovables*).

En esta ley se establece que los operadores de los aerogeneradores deben recibir 0.0910 Euros/kWh durante los primeros cinco años de operación. A partir del sexto año, para los aerogeneradores que han producido 150% más energía que un aerogenerador estándar definido como referencia,<sup>19</sup> la tarifa bajará a no menos de 0.0612 Euros/kWh. Para aerogeneradores que producen por debajo del 150% del límite de referencia teórico, el período de pago máximo se prolonga dos meses por cada 0.75 de punto porcentual, hasta lograr el 150% de producción del generador estándar.<sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> Ibídem 8

<sup>17</sup> Idem

<sup>18</sup> Idem

<sup>19</sup> Nota: El aerogenerador estándar o aerogenerador de referencia se define, en la práctica, mediante el valor promedio obtenido en un periodo de cinco años de una serie de diversos tipos de aerogeneradores operando a una velocidad del viento media de 5.5 m/s, a una altura de 30 m con un perfil logarítmico y una rugosidad igual con 0.1 m en condiciones específicas. Para tal efecto se utiliza un modelo de curva de potencia internacionalmente reconocida y aprobada por la Unión Europea. La generación eléctrica real de los aerogeneradores se compara con el modelo equivalente de referencia.

<sup>20</sup> Ibídem 8

### 1.2.2 Dinamarca

La estrategia seguida por los daneses para desarrollar la energía eólica fue llevada a cabo en dos vertientes. La primera con colaboración del gobierno y compañías eléctricas danesas se enfocó al desarrollo de aerogeneradores para interconexión a red. La segunda desarrollada para las pequeñas y medianas empresas, se enfocó al desarrollo de pequeños aerogeneradores cuyo uso se promovió mediante la combinación de subsidios a la inversión y subsidios a la producción.

Para 1976, el objetivo fundamental de la política energética de Dinamarca era el de disminuir los efectos de posibles crisis de energéticos; para ello fue creado el plan *Energía 81*. En la década de 1980 el desarrollo del sistema eléctrico continuó siguiendo la tendencia mundial de ese momento; es decir, quemando gas natural para generar electricidad. No obstante, con el propósito de lograr que el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica instalada fuera estable, en 1985 el Gobierno de Dinamarca comprometió a las compañías eléctricas a instalar 100 MW eoloeléctricos en los siguientes 5 años. Las metas de este acuerdo se lograron en 1992. En 1990 entró en vigor un nuevo acuerdo para instalar otros 100 MW antes de que concluyera 1993.<sup>21</sup>

Dinamarca tuvo que pensar en instalar centrales eoloeléctricas en el mar. Primero, comenzó con instalaciones en la costa (*on-shore*) y luego con instalaciones fuera de costa (*off-shore*) que en la actualidad se alejan hasta 20 kilómetros mar adentro. Por supuesto, para que eso fuera posible, la industria eoloeléctrica, apoyada por los centros de investigación, desarrolló aerogeneradores más robustos que soportaran vientos más intensos y un medio ambiente más agresivo, además del oleaje marítimo.

En 1995, crearon el plan *Energía 21*, que contempla no tener más de 1,500 MW eoloeléctricos en tierra y que el desarrollo eoloeléctrico a partir del año 2005 continúe en instalaciones fuera de costa.<sup>22</sup>

**Tabla 1. Elementos de política energética utilizados en Dinamarca para promover la tecnología y la implantación de la energía eólica.**<sup>23</sup>

<b>Elementos de Impulso de Mercado</b>	<b>Elementos de Empuje Tecnológico</b>
Incentivos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación para interconexión a la red</li> <li>• Convenios de compra</li> <li>• Impuestos</li> <li>• Subsidios de producción</li> <li>• Acuerdos de utilidades</li> </ul>	Incentivos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de investigación y desarrollo</li> <li>• Centros de prueba de aerogeneradores</li> <li>• Cooperación internacional</li> </ul>
<b>Otros elementos de regulación y política energética</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación del recurso eólico</li> <li>• Regulación para propietarios locales</li> <li>• Programas de información</li> <li>• Procedimientos de planeación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquemas de aprobación y certificación</li> <li>• Normalización</li> </ul>

<sup>21</sup> Ibídem 8

<sup>22</sup> Idem

<sup>23</sup> Idem

Para que Dinamarca llegará a ser un pionero en la investigación y desarrollo tecnológico en generación eoloeléctrica tuvo que crear programas de I+D; por ejemplo, en el año 2000, la Agencia Danesa de la Energía publicó un nuevo plan de acción para la investigación y desarrollo eoloeléctrico a largo plazo. Los temas dominantes para los proyectos son:

- Tecnología de los aerogeneradores.
- Recursos eólicos y clima.
- Integración de los aerogeneradores al sistema eléctrico.
- Efectos ambientales de los aerogeneradores.

### 1.2.3 España

En los últimos años, el mercado eoloeléctrico español se ha desarrollado de forma impresionante; por ejemplo, en el año 2002 España logró rebasar a los Estados Unidos en capacidad eoloeléctrica instalada y colocarse como la segunda potencia mundial en el rubro.

Al igual que en otros países, el éxito del desarrollo eoloeléctrico en España también se debe a los siguientes factores fundamentales:

- La existencia de leyes y reglamentos específicos para fomento de las fuentes de energía renovable.
- Soporte gubernamental para investigación y desarrollo tecnológico, así como para asimilación y transferencia de tecnología.
- Desarrollo de una industria eoloeléctrica propia.
- Disponibilidad de recurso eólico.
- Apoyo público.

La industria eoloeléctrica española también se desarrolló por dos vertientes: una por el lado del desarrollo tecnológico propio y la segunda como consecuencia de empresas de riesgo compartido entre compañías españolas y compañías de otros países.

*Made* y *Ecotecnia* son las dos compañías españolas que surgieron del desarrollo tecnológico propio. *Gamesa Eólica* nace como una empresa de riesgo compartido constituida por *Gamesa* (grupo de aeronáutica controlado por *BBVA* e *Iberdrola*) y *Vestas* (fabricante danés de aerogeneradores). En 1994 se construyó una pequeña central eoloeléctrica de 6 MW en la provincia de Navarra, con máquinas *Vestas V39* (500 kW) ensambladas en España por *Gamesa*. De ahí en adelante, el crecimiento de *Gamesa Eólica* fue sobresaliente. Entre *Gamesa* y *Vestas* hubo varios acuerdos que de una u otra manera tenían que ver con transferencia de tecnología y con limitaciones de penetración de mercados.<sup>24</sup>

Al igual que en otros países en España se idearon leyes especializadas en la generación eléctrica a partir de las energía renovables, una de éstas leyes (Real Decreto 2818/1998) establece en uno de sus capítulos fórmulas para calcular el precio de la energía entregada a la red eléctrica pública.

---

<sup>24</sup> *Ibíd*em 15

$$R = P_m + P_r \pm ER$$

Donde:

*R* es la retribución en pesetas

*P<sub>m</sub>* es el precio de mercado calculado con base en la oferta de los operadores de mercado para esquemas simplificados de facturación.

*P<sub>r</sub>* es una prima

*ER* es un suplemento o penalización por concepto de energía reactiva

Además de que éstas primas serán revisadas cada año tomando en cuenta el precio medio de venta de electricidad, el cual se define como:

$$PM = I / E$$

Donde:

*I* son los ingresos previstos derivados de la facturación por suministro de electricidad, excluyendo el impuesto sobre el valor añadido y cualquier otro tributo que grave el consumo de electricidad.

*E* es la energía suministrada prevista.

#### 1.2.4 Estados Unidos

En 1978, el *Acta de Políticas Regulatoras para la Compañía Pública Eléctrica* (PURPA por sus siglas en inglés <sup>25</sup>) creó las primeras reglas de mercado para la generación eoloeléctrica. PURPA exige que las compañías eléctricas compren electricidad a pequeños productores que usen energía renovable en centrales generadoras de menos de 80 MW de capacidad nominal.

En Estados Unidos a principios de 1980, los incentivos fiscales federales y estatales sumaban cerca del 50% del costo de la inversión de un proyecto eoloeléctrico, lo que desató el comienzo de la industria eoloeléctrica americana; posteriormente, en 1992, la política energética americana estableció oficialmente los incentivos fiscales federales a la producción de energía eléctrica mediante fuentes de energía renovable, de acuerdo con lo siguiente:

- Crédito de impuesto a la producción (PTC, por sus siglas en inglés *Production Tax Credit*) para las corporaciones; la cual permite un PTC de US\$ 0.015 por kWh por un período de diez años para la electricidad generada mediante fuentes de energía renovable.
- Incentivo a la producción mediante fuentes renovables de energía para el generador sin fines de lucro (REPI *Renewable Energy Production Incentive*); esta ley establece el pago del incentivo a la producción hasta por US\$ 0.015 por kWh durante los primeros diez años de operación de proyectos eoloeléctricos de compañías eléctricas municipales, cooperativas o gubernamentales que no pagan impuestos. <sup>26</sup>

<sup>25</sup> Public Utility Regulatory Policies Act

<sup>26</sup> *Ibidem* 8

En Estados Unidos cada estado del país tiene su propia política de generación de electricidad, aunque la forma de estos incentivos y su valor económico varían de un Estado a otro, los principales se pueden clasificar y describir de acuerdo con lo siguiente:

- Incentivos de tipo económico y financiero.
  - Descuentos en impuestos. Por ejemplo, en Minnesota se exenta del pago del impuesto por venta el costo total de aerogeneradores. Asimismo este incentivo se aplica a todos los componentes y materiales que se usen para su fabricación, instalación o reparación.
  - Créditos en impuestos. Estos incentivos son similares al PTC y se aplican a la producción.
  - Préstamos de capital con bajo interés. Algunos estados ofrecen préstamos con interés muy bajo (cerca de 5%) para instalaciones eoloeléctricas de baja capacidad. Típicamente estos préstamos están orientados a fomentar el autoabastecimiento en pequeña escala, así como la formación de cooperativas para generación de electricidad en pequeña escala.
  - Medición neta. Consiste en un método simplificado para medir la electricidad que produce y consume una casa o negocio que posee su propio generador de electricidad con base en energía renovable (i.e., autoabastecimiento con energía renovable). Bajo este esquema, los excedentes de electricidad harán que el medidor de consumo de electricidad gire al revés. Para el consumidor esto aparenta que la compañía suministradora almacena los excedentes y los regresa al consumidor cuando éste los necesita. La gran ventaja de este esquema es que se intercambia kWh por kWh sin importar la hora del día en que se generó el excedente. La medición neta no es un incentivo federal. Las reglas de medición neta pueden ser diferentes de un Estado a otro. Típicamente este concepto se aplica a instalaciones de poca capacidad; por ejemplo, en California la capacidad máxima elegible es de 1 MW.
- Incentivos legales y reglamentarios
  - Portafolio de Energía Renovable. Por ley se requiere que cierto porcentaje de la electricidad que vende un suministrador de electricidad sea generado con base en energía renovable.
  - Obligación de capacidad renovable.- En algunos estados se exige que las compañías eléctricas instalen cierta cantidad de capacidad (MW) con base en energía renovable, a cambio de concesiones.
- Programas de investigación
  - Estos programas pueden ser realizados por grupos privados, empresas eléctricas, centros de investigación, organizaciones públicas y otras entidades. Típicamente estos programas se patrocinan mediante *cargos en beneficio del sistema* que provienen del pago de impuestos. Por ejemplo, California maneja un presupuesto aproximado de 60 millones de dólares para un programa denominado *Investigación en Energía por Interés Público*.

## 1.3 ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

### 1.3.1 Bionenergía

La bioenergía es un componente muy importante de la energía que actualmente se consume en el mundo, llegando a cerca del 11% del consumo total mundial (International Energy Agency, IEA, 1998). En muchos de los países en vías de desarrollo la biomasa es la más importante fuente de energía, llegando a cerca del 35% del total (World Energy Council, WEC, 1994). En total, se estima que 46 exajoules, EJ ( $10^{18}$  Joules) de la energía primaria global se derivan de la biomasa; con 85% por uso *tradicional* (leña, abono, etc.), y 15% en uso industrial, como combustibles, procesos Calor y Energía Combinados (CHP, por ejemplo, estufas de leña) y Electricidad.

Los siguientes datos muestran la importancia del uso de bioenergía en el mundo:

- 11 millones de hogares se iluminan con biogás
- 250 millones de estufas eficientes de leña
- 38,000 MW de capacidad instalada para producción de electricidad
- 30 mil millones de litros/año de etanol
- 180 millones de personas viven en países con normas para mezclar etanol con gasolina

Los países desarrollados están incrementando el uso de la bioenergía con el fin de reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> y respetar así los convenios adquiridos en el protocolo de Kyoto. Se estima que la participación en cuanto a producción de energía por biomasa, vaya en aumento en los próximos años hasta conformar en el próximo siglo el 25% del total mundial.<sup>27</sup>

**Tecnología:** Se usan procesos termoquímicos de conversión los cuales se basan en someter los combustibles biomásicos a altas temperaturas y pueden dividirse en tres categorías, dependiendo de que el calentamiento se lleve a cabo con exceso de aire (*combustión*), en presencia de cantidades limitadas de aire (*gasificación*) o en ausencia completa del mismo (*pirólisis*). Los materiales más utilizados para su conversión termoquímica son los de bajo contenido en humedad y alto en lignocelulosa, tales como madera, paja, bagazo, residuos agrícolas y cáscaras en general.

Las tecnologías más comunes utilizadas en el aprovechamiento de combustibles biomásicos a mediana y gran escala son: las calderas acuotubulares, pirotubulares, quemadores de ciclón, calderas de lecho fluidizado burbujeante y circulante, los quemadores de astillas y pellets, los gasificadores en sus distintas modalidades y los hornos de pirólisis entre los que se encuentran el sistema Torrax y Landgar. Para el caso de pequeña escala se encuentra la tecnología de estufas de leña domésticas e industriales, así como los hornos de ladrillos cerámicos y alfareros.

---

<sup>27</sup> Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México, 2005, Omar R. Masera CIE, UNAM. \* Todos los datos numéricos sobre Biomasa a nivel mundial fueron obtenidos de dicha fuente.

### 1.3.2 Energía Geotérmica

En 1913 se generó por primera vez corriente eléctrica con una central geotérmica en Italia. A nivel mundial se genera actualmente en 21 países un total de 8,000 MW de energía eléctrica en base a la energía geotérmica. Más del 25 por ciento de la potencia de centrales se encuentran en los EE.UU., las Islas Filipinas se encuentran en segundo lugar con 1,9 GW de potencia instalada. Con distancia siguen México, Italia, Indonesia, Japón y Nueva Zelanda. En los siguientes años se ampliará la generación de corriente eléctrica en base a energía geotérmica a nivel mundial.

**Tabla 2. Capacidad geotermoeléctrica mundial instalada al año 2004.<sup>28</sup>**

<i>País</i>	<i>Capacidad [MWe]</i>	<i>País</i>	<i>Capacidad [MWe]</i>
Estados Unidos	2,002	Guatemala	29
Filipinas	1,909	China	28
<b>México</b>	<b>953</b>	Turquía	20
Italia	795	Portugal	16
Indonesia	748	Etiopía	9
Japón	535	Nueva Guinea	6
Nueva Zelanda	436	Francia	4
Islandia	170	Taiwán	3
El Salvador	161	Rumania	2
Costa Rica	153	Tailandia	0.3
Kenia	121	Austria	0.3
Nicaragua	77	Australia	0.2
Rusia	62	Zambia	0.2
<b>Capacidad total: 8240 MW</b>			

**Tecnología:** Para poder explotar la geotermia, se requiere un medio el cual pueda desplazar hacia la superficie. Para eso existen dos posibilidades:

1. El medio ya está existente en el subterráneo como vapor o agua caliente. A través de una perforación se desplaza hacia la superficie, se refrigera mediante utilización y se retorna a continuación.
2. En el subterráneo hay formaciones de rocas calientes. Para poder explotar este calor, se bombea agua hacia la profundidad, se calienta y se sube nuevamente mediante bombeo (por ejemplo el llamado procedimiento Hot-Dry-Rock).

Para la explotación de la energía existente para el abastecimiento de calor, la generación de frío o de corriente eléctrica, existen diferentes desarrollos tecnológicos: se aplican bombas térmicas, colectores geotérmicos, sondas geotérmicas, palos energéticos o también componentes de hormigón con contacto con la tierra.

<sup>28</sup> VI Foro Regional. Impacto Estratégico de la Energía Geotérmica y Otras Renovables en Centro América. Managua, Nicaragua, Octubre de 2005. *Situación Actual y Perspectivas de la Energía Geotérmica en México*. Autor: Luis Quijano, CFE, Gerencia de Proyectos Geotérmicos.

### 1.3.3 Energía Solar

La Agencia Internacional de Energía informa que en el año 2001 el suministro total de energía primaria a nivel mundial fue de  $42,027 \times 10^4$  TJ, el 13.5% fue proporcionado por fuentes de energía renovables. La participación de las llamadas *nuevas renovables* que incluye a: solar, viento y marea, tienen una contribución todavía marginal, representando el 0.1% del suministro mundial y un 0.5% del total de las renovables.<sup>29</sup>

En este contexto y con una experiencia de poco más de dos décadas, varios países entre los que figuran principalmente Estados Unidos, Alemania, Australia, España, Israel, entre otros, han establecido programas de Investigación y Desarrollo para la generación de electricidad a través de sistemas solares utilizando la conversión termodinámica<sup>30</sup>.

**Tecnología:** Actualmente se pueden identificar tres tecnologías cuyo potencial de aplicación es altamente prometedor: Receptor Central (RC), Canal Parabólico (CP) y Plato Parabólico (PP)<sup>31</sup>. El principio de operación de las tres tecnologías es similar, y se basa en la concentración de los rayos del sol por medio de espejos para lograr altas temperaturas en un proceso cuyo fin es accionar turbinas, acopladas a generadores eléctricos para producir electricidad.

### 1.3.4 Energía Hidráulica

La energía hidráulica se aprovecha desde los inicios de la generación de electricidad a fines del siglo XIX, por ejemplo, como medio de propulsión en molinos o aserraderos. Durante largo tiempo la energía hidráulica formó la fuente energética regenerativa más importante para la generación de corriente eléctrica. Hoy en día, la energía hidráulica es una tecnología madura que representa a nivel mundial (después de la explotación tradicional de las biomásas), la fuente energética renovable más utilizada. Alrededor de 19 por ciento del consumo neto total de corriente eléctrica del mundo provinieron en el año 2000 de esta fuente energética, mientras que todas las demás energías regenerativas aportaron conjuntamente con un sólo por ciento.

Las posibilidades para la exploración rentable de la energía hidráulica dependen en gran parte de las circunstancias naturales de un país. Más de 20 países del mundo como Noruega o Paraguay cubren su demanda de energía eléctrica con más de 90 por ciento a través de la energía hidráulica, mientras que otros lo hacen con una participación dominante, entre ellos también Austria, Brasil, Venezuela y Canadá.<sup>32</sup>

**Tecnología:** La tecnología es realmente bastante sencilla: no es el agua la que genera la energía, sino el viento que desplaza esa agua. La planta consiste en un depósito en forma de pipa, que se encuentra debajo de la superficie del agua. El nivel del agua sube y baja con el oleaje y el aire, en las pipas es impulsado hacia arriba o succionado hacia abajo. El flujo de aires genera energía a través de turbinas Wells, así llamadas en honor a su

<sup>29</sup> IEA Statistics, Renewables Information 2003. International Energy Agency, OECD/IEA, 2003

<sup>30</sup> SolarPACES Annual Report 2003. International Energy Agency Solar Power and Chemical Energy Systems. Edited by M. Geyer. April, 2004.

<sup>31</sup> Tecnologías Termosolares a Concentración para la Generación de Potencia Eléctrica en México (Informe Final 1999), IIE/01/14/10816/1003/F. Instituto de Investigaciones Eléctricas Diciembre, 1999.

<sup>32</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER – GTZ 2006.

inventor. Estas turbinas giran en el mismo sentido ya sea que se trate de una entrada o de una salida de aire. El uso óptimo de la energía hidráulica se logra cuando el generador, accionado por las turbinas, produce electricidad también cuando las olas bajan.

## 1.4 ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

### 1.4.1 Bioenergía

**Estado actual:** Actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarera) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos). En 2004 se consumieron 92 petajoules, PJ, ( $10^{15}$  joules) de bagazo de caña y 250 de leña.<sup>33</sup> México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol<sup>34</sup> que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química. Al 2005 la Comisión Reguladora de Energía autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

**Potencial:** El potencial técnico de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 petajoules al año, sin embargo, su uso actual es 10 veces menor.<sup>35</sup> Del potencial estimado, un 40% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agrocombustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal. Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades<sup>36</sup> para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año.<sup>37</sup> Además, se cuenta con un área agrícola significativa, potencialmente apta para la producción de bioetanol y biodiesel.<sup>38</sup>

**Costos:** Para la obtención de etanol a partir de almidones se estima a nivel internacional un costo de inversión de 0.8 USD/l; a partir de recursos ricos en azúcares (melaza), el costo de inversión es de 0.40 USD/l. La elaboración de biodiesel a partir de aceite de soya tiene un costo de 0.57 USD/l, y a partir de aceite de girasol el costo es de 0.52 USD/l.<sup>39</sup>

**Proyectos:** *El Proyecto de Bioenergía de Nuevo León S.A.* en Monterrey, es el primero en el país que aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para generar energía eléctrica, con una capacidad de 7 MW. El proyecto se desarrolló con un apoyo parcial del Banco Mundial.

*El Grupo Energéticos S.A., en colaboración con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), firmaron un convenio de colaboración para producir*

<sup>33</sup> Sistema de Información Energética: sie.energia.gob.mx/sie/bdiController , SENER 2005, México.

<sup>34</sup> Calatayud, Liliana y Jácome, Sergio, 2003, México.

<sup>35</sup> Libro Blanco de la Bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.

<sup>36</sup> Ciudad de México, Guadalajara, Puebla, Nezahualcoytl, Tijuana, Ecatepec, Mérida, Acapulco, Ciudad Juárez, y Tlalnepantla.

<sup>37</sup> [www.wheelabratortechologies.com/WTI/CEP/nbroward.asp](http://www.wheelabratortechologies.com/WTI/CEP/nbroward.asp).

<sup>38</sup> Libro Blanco de la Bioenergía En México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.

<sup>39</sup> Una Visión al 2030 de la Utilización de las Energías Renovables en México, UAM 2005, México.

biodiesel a partir de grasa animal de desecho de rastros. En julio del 2005, en Nuevo León, se inauguró la planta con una inversión de 1.5 millones de dólares (capacidad de producción inicial de 500 mil litros por mes). El biodiesel se usa como combustible en medios de transporte, en una primera etapa, para camiones industriales en el norte de México. La visión a futuro es comercializar el producto en la Ciudad de Monterrey, ya que la planta tiene un potencial de producción de 1 millón de litros por mes.

### 1.4.2 Energía Geotérmica

**Estado actual:** México ocupa el tercer lugar mundial en capacidad de generación de energía geotérmica, con 960 MW instalados, con los que se generan más de 6,500 GWh/año.

**Potencial:** La CFE estima que el potencial geotérmico permitiría instalar otros 2,400 MW, pero esto depende en gran medida del desarrollo tecnológico en el rubro; estos proyectos se muestran a continuación.

**Tabla 3. Proyectos geotérmicos en etapa de factibilidad de la cartera del Sector Energía.** <sup>40</sup>

Central	Capacidad [MW]	Generación [GWh/año]
Cerro Prieto V, Baja California	100	813.2
Cerritos Colorados 1ª etapa, Jalisco	26.9	207.1
Cerritos Colorados 2ª etapa, Jalisco	26.9	414.1
Los Humeros II, Puebla	25	207.1
Los Humeros III, Puebla	55	207.1
<b>Total</b>	<b>220</b>	<b>1,656.3</b>

**Costos:** Los montos de inversión en centrales geotermoeléctricas en México son del orden de 1,400 USD/kW. Por su parte, el costo de generación promedio es de 3.986 ¢USD/kWh. <sup>41</sup>

<sup>40</sup> Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

<sup>41</sup> Balance Nacional de Energía 2003, SENER 2004, México.



Figura 2. Campos geotérmicos en México. <sup>42</sup>

### 1.4.3 Energía Solar

**Estado actual:** De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 570 mil metros cuadrados de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m<sup>2</sup> y día, generando más de 270 gigajoules ( $10^9$  joules) para calentar agua. <sup>43</sup>

**Potencial:** Con una insolación media de 5 kWh/m<sup>2</sup>, <sup>44</sup> el potencial en México es de los más altos del mundo. Se espera tener instalados 25 MW con tecnología fotovoltaica para 2013, y generar 14 GWh/año. Además se espera contar para 2009 con un sistema híbrido de ciclo combinado acoplado a un campo solar de 25 MW (Agua Prieta II, Sonora). <sup>45</sup>

**Costos:** Los sistemas fotovoltaicos son actualmente viables para sitios alejados de la red eléctrica y aplicables en electrificación y telefonía rural, bombeo de agua y protección catódica, entre otros usos. Los costos de generación e inversión para sistemas fotovoltaicos se encuentran en el rango de 3,500 a 7,000 dólares por kW instalado y de 0.25 a 0.5 dólares por kWh generado. <sup>46</sup> Para los sistemas fototérmicos ("concentradores") los costos se estiman en un rango de 2,000 a 4,000 dólares por kW y de 10 a 25 centavos de dólar por kWh. El costo de inversión para los colectores solares planos es de 242 USD/m<sup>2</sup> instalado. <sup>47</sup>

**Proyecto:** La CFE cuenta con una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, conformada por 17 kW fotovoltaicos, 100 kW eólicos y motogenerador diesel de 80 kW.

<sup>42</sup> Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México. UNAM, 2005.

<sup>43</sup> Balance Nacional de Energía, www.anes.org, ANES 2005, México.

<sup>44</sup> www.energia.gob.mx, SENER 2005, México.

<sup>45</sup> Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005, México.

<sup>46</sup> www.energia.gob.mx, SENER 2005, México.

<sup>47</sup> Una Visión al 2030 de la Utilización de las Energías Renovables en México, UAM 2005, México.

Se licitará durante el 2006 una planta híbrida de ciclo combinado con componente termosolar de 25 MW de capacidad en el noroeste de México, el cual se espera que entre en operación en el 2008.

#### 1.4.4 Energía Hidráulica

**Estado actual:** México actualmente cuenta con casi 60 hidroeléctricas de las cuales las principales se encuentran en los estados de Michoacán, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Chiapas. Por el lado de las minihidráulicas, están operando en los estados de Veracruz y Jalisco tres centrales con una capacidad instalada de 16 MW, que generan un total de 67 GWh/año. Adicionalmente están en operación tres centrales híbridas (minihidráulicas-gas natural) en los estados de Veracruz y Durango.<sup>48</sup>

**Potencial:** La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE,<sup>49</sup> estimó en 2005 el potencial hidroeléctrico nacional en 53,000 MW, de los cuales, para centrales con capacidades menores a los 10 MW, el potencial es de 3,250 MW. Se prevé que para finales del 2006 se tengan instalados 142 MW adicionales. La cartera del Sector Energía contempla la ampliación de seis grandes hidroeléctricas por una capacidad de 1,528 MW y una generación de 1,079 GWh/año.<sup>50</sup>

**Costos:** En México los costos de instalación en el 2004 eran en promedio de 1,600 USD por kW instalado, con un costo de generación de 11.50 ¢ USD por kWh generado.<sup>51</sup> El país cuenta con un potencial macro hidroeléctrico de 137,977 GWh/año y una potencia de 52,427 MW en 583 sitios o proyectos. La explotación de dicho potencial en 72 centrales era en el año 2000 del 18.2 % en términos de generación media anual y del 19.4 % en términos de potencia instalada.

**Proyectos en Operación y en Desarrollo:** Comexhidro es una empresa dedicada al aprovechamiento energético de presas de riego agrícola ya existentes. Inauguró en el 2003 su primer proyecto, "Las Trojes", en el estado de Colima, una minihidroeléctrica de 8 MW de capacidad. En el 2005 entró en operación la minihidroeléctrica *Chilatán*, ubicada en el estado de Michoacán, con una capacidad de 14 MW. El proyecto más importante de la empresa, *El Gallo*, en el estado de Guerrero, contará con una capacidad de 30 MW, y está en construcción desde el 2004. La empresa cuenta con el primer proyecto en ER en América Latina que obtiene los incentivos adicionales provenientes de los bonos de carbono. Otra más, es la hidroeléctrica *El Cajón*, la cual entró en operación en Marzo de 2007 y cuenta con una capacidad de generación de 375 MW, ubicada en Santa María del Oro, Nayarit.<sup>52</sup>

#### 1.4.5 Energía Eólica

**Estado actual:** En el 2004 se tenían instalados 3 MW; 2 MW en la zona sur-sureste y 1 MW en la zona noreste, con los que se generaron 6 GWh de electricidad.

<sup>48</sup> www.cre.gob.mx, CRE, México.

<sup>49</sup> www.conae.gob.mx, CONAE, México.

<sup>50</sup> Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005, México.

<sup>51</sup> Balance Nacional de Energía 2003, SENER 2004, México.

<sup>52</sup> www.cfe.gob.mx

**Potencial:** Los estudios del NREL <sup>53</sup> y diversas instituciones mexicanas (Asociación Nacional de Energía Solar, ANES, Asociación Mexicana de Energía Eólica, AMDEE, Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE) han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW, siendo las regiones con mayor potencial, el Istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California. A continuación, se presentan algunas imágenes tomadas en Diciembre de 2006, las cuales se puede apreciar el potencial eólico en la zona del Istmo de Tehuantepec, donde golpearon vientos de hasta 120 km/hr.



**Figuras 3 y 4. La Venta , Oaxaca: aerogenerador derrumbado por vientos de más de 110 Km/h en Diciembre de 2006.** <sup>54</sup>

<sup>53</sup> Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2003, Estados Unidos de América.

<sup>54</sup> Periódico Reforma, Diciembre de 2006.

Las condiciones eólicas en el Istmo de Tehuantepec son de las mejores a nivel mundial. En Oaxaca hay zonas con velocidades del viento medidas a 50m de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial de 6,250 MW, y otras con velocidades entre 7.7 y 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 MW.

En Baja California, las mejores zonas están en las sierras de La Rumorosa y San Pedro Mártir (274 MW). Yucatán (352 MW) y la Riviera Maya (157 MW) tienen suficiente potencial para sustituir plantas que operan con combustóleo, diesel y generadoras de turbogas.

**Costos:** De acuerdo con CFE, los montos de la inversión para estos sistemas son de 1,400 USD/kW, con un costo de generación de 4.34 centavos de dólar por kWh (¢USD/kWh)<sup>55</sup> y se estima que para el 2020 sean menores a los 3¢ de USD por kWh.<sup>56</sup>

**Proyectos en desarrollo:** En el 2005 la CFE inició la construcción en la Venta, Oaxaca, de la primera planta eólica de gran escala en México (83.3 MW) nombrada La Venta II, que entró en operación en Marzo de 2007, con una inversión de 111.4 millones de dólares; la cual con su producción anual de poco más de 83 MW al año sustituirán a 19,784 toneladas equivalentes de petróleo al año y evitará la emisión de gases en 400 mil toneladas de CO<sub>2</sub>, por lo que se recibirá un premio por más de 200 millones de pesos, recuperando así parte de la inversión.<sup>57</sup> Adicionalmente, la SENER tiene programada la construcción de otros 505 MW de capacidad eólica (en la modalidad de productor independiente) en la misma región en los próximos años, con lo que se espera tener instalados 588 MW en 2014. Existen 7 permisos otorgados por la CRE para proyectos privados de autoabastecimiento con tecnología eólica que aportarán en los próximos años un total de poco más de 950 MW al Sistema Eléctrico Nacional.

En Enero de 2007 CFE lanzó la primera licitación en su historia para desarrollar un proyecto privado de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, el cuál contará con un subsidio del Banco Mundial por 25 millones de dólares; una parte de éste subsidio será utilizado para dar un incentivo de 1.1 centavos de dólar por KWh entregado a la red eléctrica, durante los primeros 5 años de operación a la empresa ganadora de la licitación. La obra nombrada La Venta III iniciaría su construcción en Diciembre de 2007 y entrará en operación comercial en Marzo de 2009, el proyecto constará de 78 aerogeneradores con una capacidad de 101 MW; además de este proyecto, se tienen contemplados cuatro más, nombrados Oaxaca I, II, III y IV con lo cual para el año 2014 se tendrán los 588 MW eólicos proyectados.<sup>58</sup>

Por el lado del autoabastecimiento, el proyecto más importante, es el que llevará a cabo la empresa francesa Electricité de France, (EDF), a través de su filial EDF Energies Nouvelles; iniciará la construcción de una planta de autoabastecimiento de generación eólica, la cual tendrá un costo aproximado de 140 millones de dólares y arrancará su construcción en Julio de 2007, generará 67.5 MW en la costa de La Ventosa, Oaxaca y entrará en operación en Diciembre de 2008; ésta planta evitará la emisión de 160 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.<sup>59</sup> La electricidad generada por EDF Energies Nouvelles será

<sup>55</sup> Balance Nacional de Energía 2003, SENER 2004, México.

<sup>56</sup> NREL Energy Analysis Office, [www.nrel.gov/analysis/docs/cost\\_curves\\_2020.ppt](http://www.nrel.gov/analysis/docs/cost_curves_2020.ppt).

<sup>57</sup> Periódico Excelsior, sección Dinero, Viernes 30 de Marzo de 2007.

<sup>58</sup> Periódico Reforma, sección Negocios, Viernes 19 de Enero de 2007.

<sup>59</sup> Periódico Reforma, sección Negocios, Viernes 9 de Febrero de 2007.

comprada en su totalidad por la empresa Wal – Mart de México, lo que le representará a dicha empresa el 34 por ciento del consumo total y ahorros de hasta 2.5 millones de dólares.<sup>60</sup>

A principios de 2004 NREL publicó el *Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca* en el cual se presentan los mapas del recurso eólico del estado de Oaxaca y la región ístmica en  $W/m^2$  a 50 metros de altura<sup>61</sup>. Según este estudio el 7.3% del estado (6,637  $km^2$ ) cuenta con recurso eólico de bueno a excelente (mayor o igual a 400  $W/m^2$ ).

---

<sup>60</sup> Periódico Excelsior, sección Dinero, Viernes 16 de Febrero de 2007.

<sup>61</sup> Elliot D., et al. Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-500-35575. Abril, 1994.

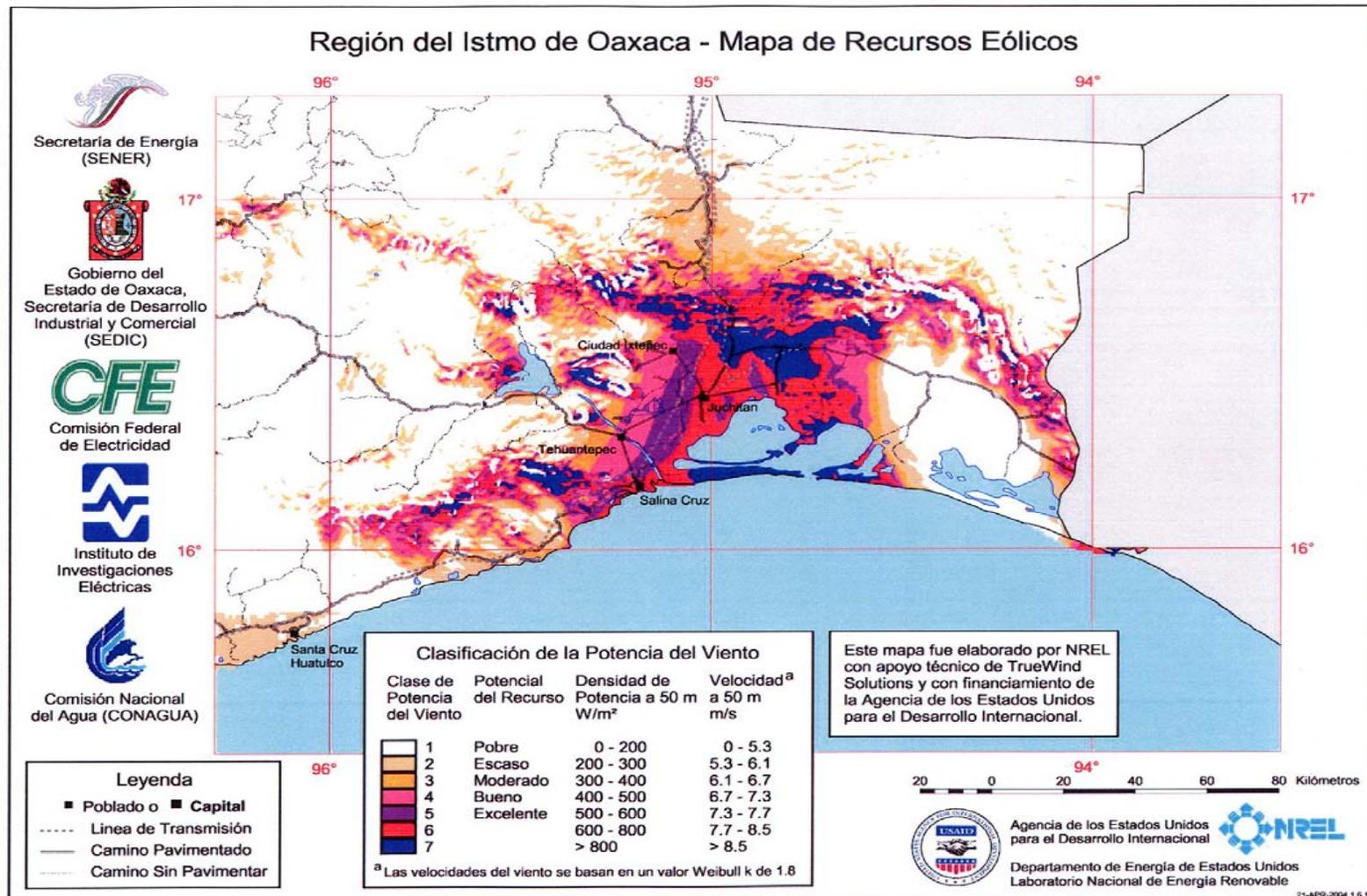


Figura 5. Mapa de recursos eólicos del Istmo de Oaxaca.

### CONCLUSIONES

La energía eléctrica se ha convertido en un elemento indispensable para prácticamente todas las actividades de la vida moderna. Por ello, su suministro con la calidad requerida y a precios competitivos, permitirá atraer mayores inversiones, contribuyendo así a la generación de empleos en la economía.

En el sector eléctrico se requiere enfrentar varios retos. Uno de ellos es el nivel actual de las tarifas eléctricas, el cual tiene un importante impacto en las decisiones de inversión y es un factor clave para la competitividad de la economía. Actualmente más de la mitad de la electricidad generada a nivel mundial se basa en la utilización de hidrocarburos como fuente primaria.

México tiene gran potencial energético en las energías renovables, sin embargo, los hidrocarburos mantienen la mayor participación de la oferta energética, mientras que el uso de los energéticos renovables ha sido mínimo, empleándose principalmente para calefacción y para la generación de electricidad en zonas de difícil acceso.

Aunque últimamente se han realizado y aprobado proyectos importantes haciendo uso de las energías renovables (principalmente energía eólica e hidráulica) queda mucho trabajo por hacer para que la generación mediante estos energéticos tenga un alto índice de penetración en los sistemas eléctricos nacionales y poder formar una diversificación energética importante y terminar con la dependencia de los hidrocarburos, los cuáles están por agotarse.

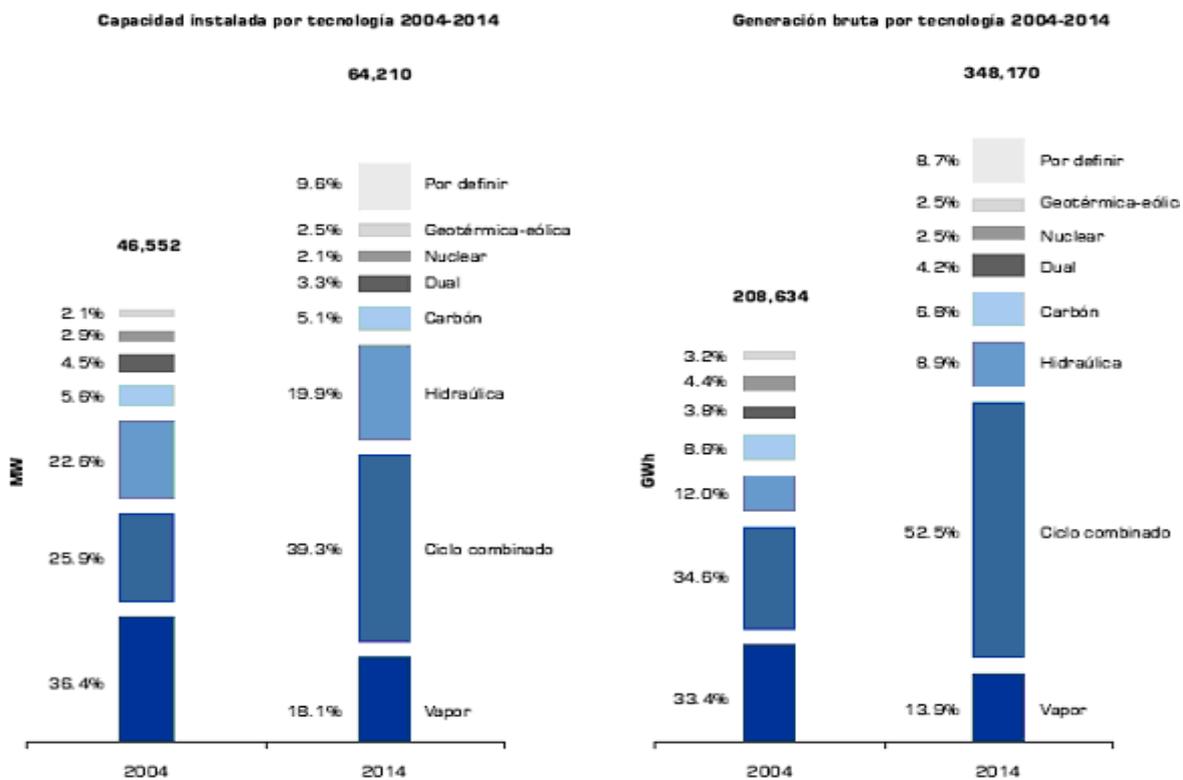


Figura 6. Capacidad instalada y Generación bruta por tecnología 2004 – 2014.<sup>62</sup>

<sup>62</sup> Elaborada con datos de las Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

A finales del 2005 la CRE había autorizado 54 permisos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (Tabla 4), bajo las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración y exportación, de los cuales, 37 ya están en operación. Se espera que en 2008 entren en operación los restantes, con lo que se incorporarán a la red más de 1,400 MW de capacidad en energías renovables, y una generación de más de 5,000 GWh/año.

**Tabla 4. Permisos de generación con energías renovables otorgados a particulares.**<sup>63</sup>

<b>Energético</b>	<b>Permisos</b>	<b>Capacidad [MW]</b>	<b>Energía [GWh/a]</b>
Viento	7	956.78	3,645.81
Agua	12	159.08	736.33
Bagazo de caña	4	70.85	205.30
Biogás	3	19.28	120.80
Híbridos	28	248.68	475.40
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>1,454.62</b>	<b>5,183.14</b>

<sup>63</sup> Elaborada con datos de las Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005.

## CAPITULO 2. BASE TECNOLÓGICA E IMPLICACIONES

### INTRODUCCIÓN

*No se puede controlar el viento, pero se pueden construir molinos.  
Proverbio Holandés*

Si bien ahora existen decenas de miles de aerogeneradores operando eficazmente en el mundo, la investigación y el desarrollo tecnológico, con base en la experiencia operacional, continúan dando frutos en la mejora continua de la tecnología, las proyecciones a futuro cercano (10 años) resultan en expectativas de alta competencia económica con las opciones convencionales más baratas para generar electricidad.

Actualmente, los aerogeneradores para aplicaciones interconectadas a red (incluyendo los modelos que se ofrecen en el mercado y los prototipos más recientes) tienen capacidades que van de 300 a 6,000 kW. Sus rotores tienen diámetros entre 34 y 120 metros y se instalan en torres que alcanzan hasta 183 metros de altura. En Europa se han realizado varios estudios que coinciden en que mediante la generación eoloeléctrica sería posible suministrar de 10 a 20 % de su consumo de electricidad, sin necesidad de hacer cambios a la forma en que actualmente se operan los sistemas eléctricos.<sup>64</sup>

Las principales variables que condicionan la cantidad de energía que se produce son principalmente: la velocidad del viento, el radio de las aspas, la altura de las torres y la densidad del aire y las implicaciones que conllevan a la implantación de éste tipo de tecnología tiene que ver con aspectos sociales, culturales, económicos, organizacionales, técnicos, legales y ambientales.

En la industria eólica aún existen retos importantes uno de ellos es combatir la intermitencia del viento ya que la energía eólica al igual que la solar, no es una energía constante, sino que oscila de acuerdo con la velocidad del viento y la época del año.

Lo anterior puede llegar a provocar que el abasto de electricidad no sea el que se requiere para atender la demanda, para esto se han ideado sistemas de almacenamiento de energía, para que cuando se disponga del recurso natural éste se pueda almacenar. Por ejemplo, en la Ventosa (el único parque eólico del país), el potencial de viento disminuye durante los mismos meses en los que presenta alta precipitación pluvial, por ello se tiene en México un amplio interés en desarrollar proyectos eoloeléctricos combinados con otras tecnologías, como la solar o la geotérmica, además de la hidráulica.

---

<sup>64</sup> Periódico Reforma. Sección: Ciencia Fecha: 28 de Junio de 2007.

2.1 BASE TECNOLÓGICA

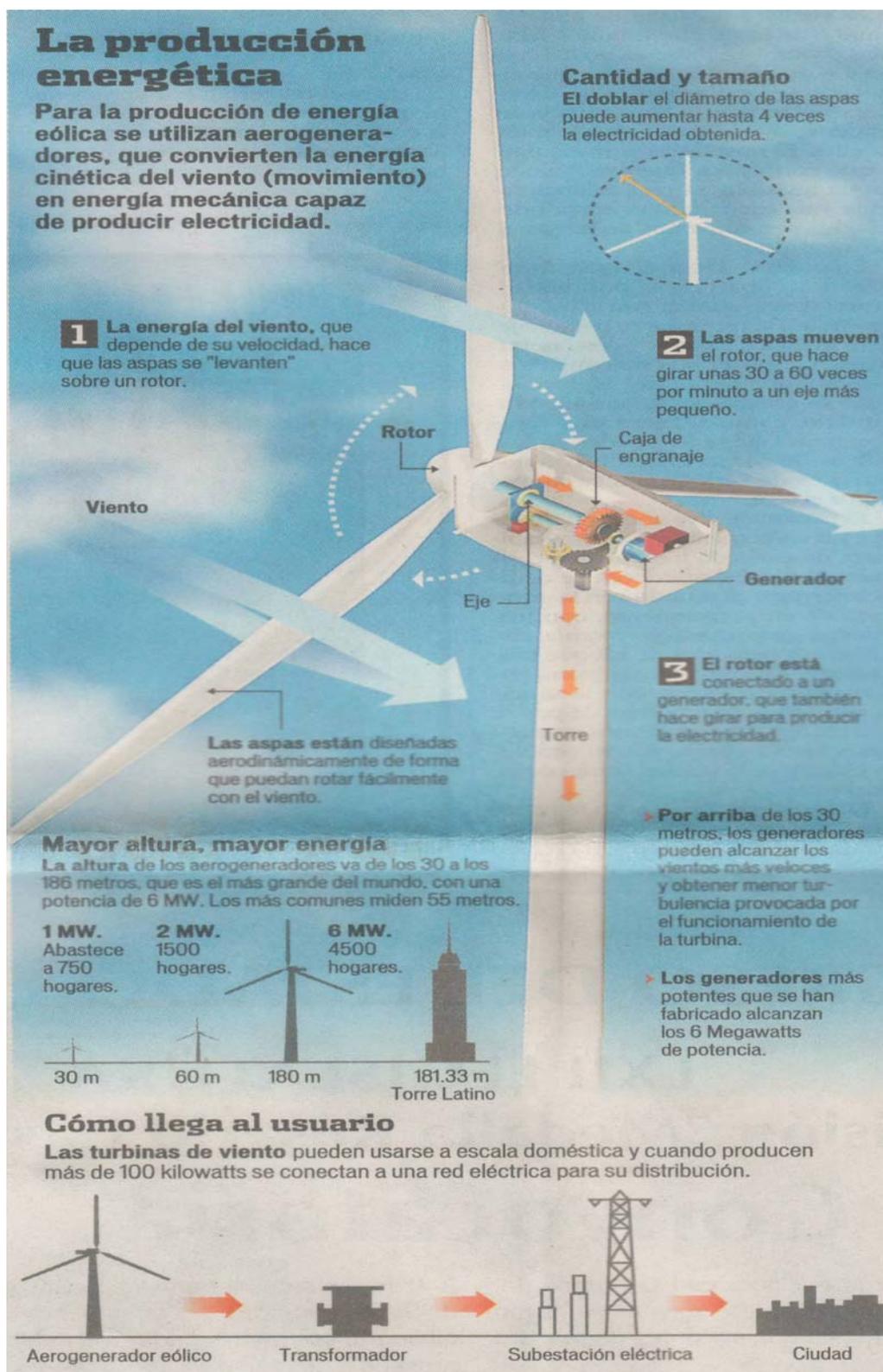


Figura 7. La Producción Eólica. <sup>65</sup>

<sup>65</sup> Periódico Reforma, Sección: Ciencia, Fecha: 28 de Junio de 2007.

### 2.1.1 Elementos de un aerogenerador

Un aerogenerador de eje horizontal está formado principalmente por ocho subsistemas generales:

- Rotor (juego de aspas, cubo y nariz).
- Tren de potencia (flecha principal, caja de engranes y acoplamientos).
- Generador eléctrico.
- Subsistema de orientación al viento.
- Subsistema de regulación de potencia.
- Subsistemas de seguridad (frenos).
- Chasis principal.
- Torre.

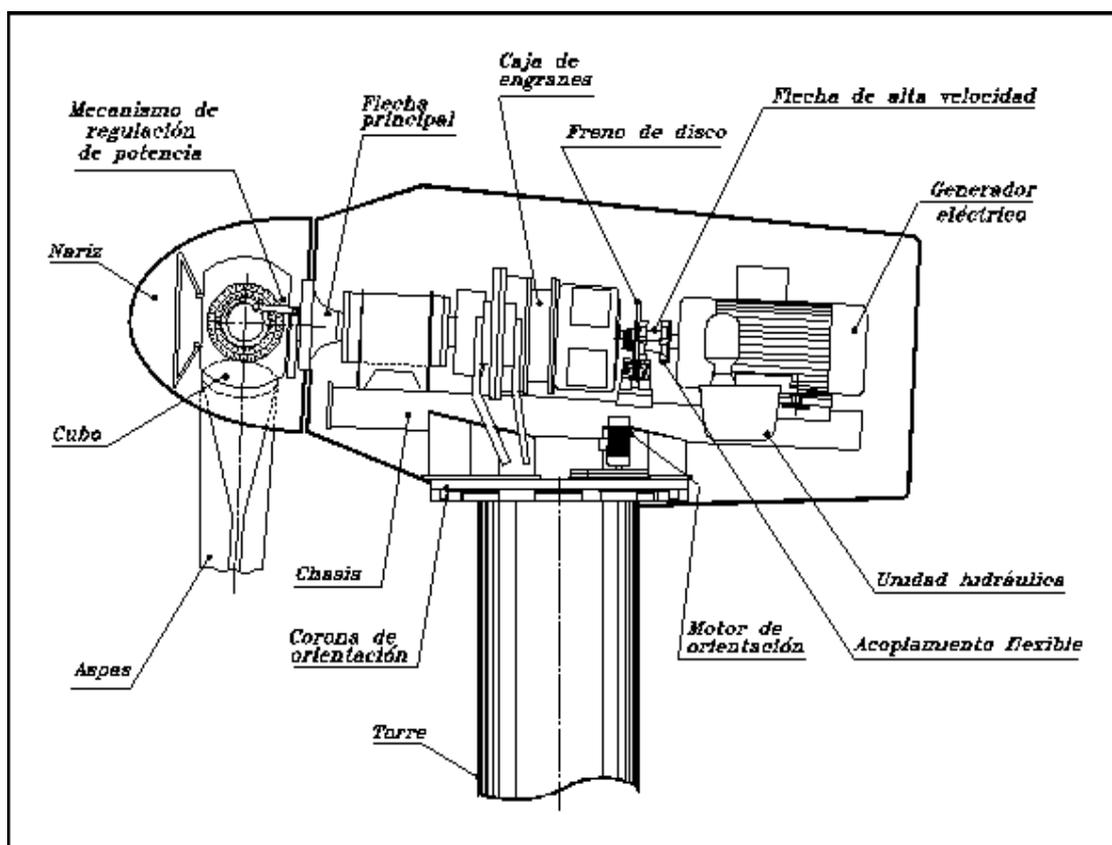


Figura 8. Subsistemas principales de un aerogenerador de eje horizontal. <sup>66</sup>

### 2.1.2 Subsistemas principales de un aerogenerador moderno

#### A. Chasis principal

El chasis principal es una estructura metálica donde se monta el tren de potencia, el generador eléctrico, las mordazas del freno y, en su caso, las unidades hidráulicas. Normalmente, está construido a partir de placa y perfiles estructurales de acero soldados; es el principal receptor de los esfuerzos generados en el frenado, ya que

<sup>66</sup> Energía Eólica, centrales eoloelectricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

sobre él se montan los elementos de fricción que actúan sobre el disco del freno (las mordazas). Su dimensión y peso depende de las cargas que debe soportar, además está encargado de proteger a los componentes del sistema contra los efectos del medio ambiente.

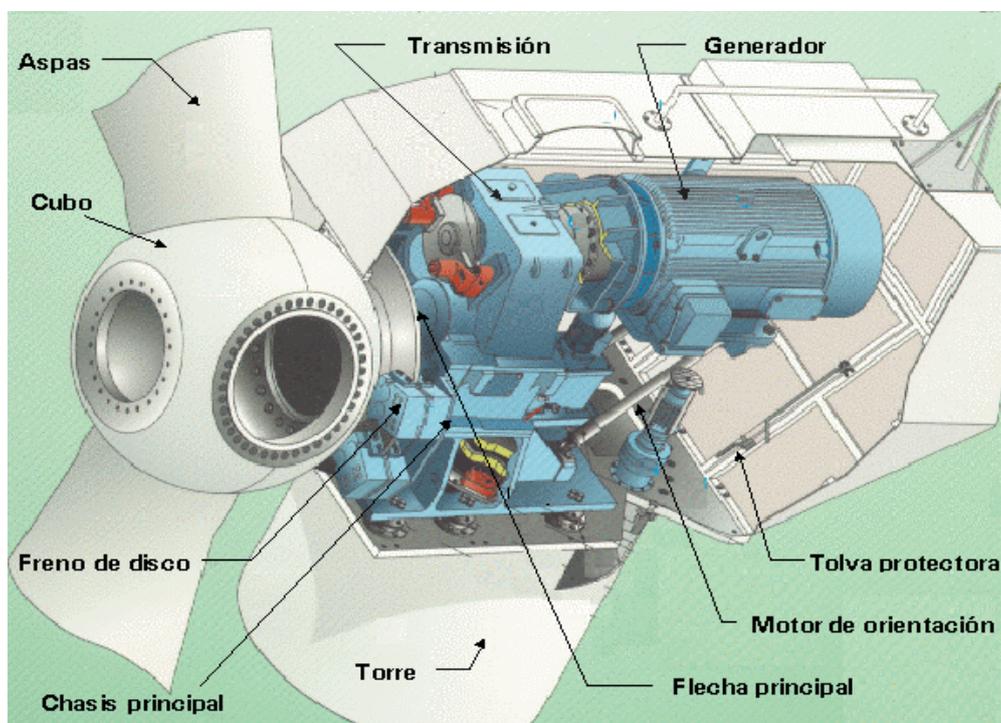


Figura 9. Chasis principal, subsistemas principales de un aerogenerador moderno.<sup>67</sup>

## B. Rotor

El rotor es el subsistema formado por las aspas, el cubo y la nariz. Su función es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico. Uno de los parámetros que determina el comportamiento de un rotor, en cuanto a su relación par(giro)-velocidad, es su solidez. La solidez de un rotor es la relación entre el área efectiva del rotor y el área total de barrido.

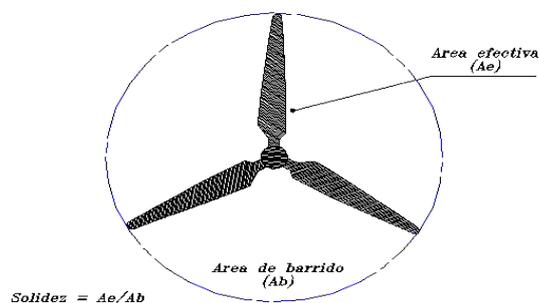


Figura 10. Concepto de solidez de un rotor.<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Energía Eólica, centrales eoloelectricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

<sup>68</sup> Idem

Los rotores de aerogeneradores para centrales eoloelectricas se diseñan con baja solidez; aunque esto ocasiona que el rotor tenga un par de arranque bajo, también contribuye a mejorar su coeficiente de potencia o eficiencia del rotor. Las aspas son construidas con perfiles aerodinámicos para capturar la mayor cantidad de energía cinética del viento; sin embargo la eficiencia máxima de un rotor aerodinámico está limitada físicamente a un 50%, anteriormente, Alfred Betz calculó la eficiencia máxima en 59.3%, pero no tomando en cuenta algunos factores de pérdida como la fricción. Las dimensiones de una aspa van desde los 13 metros para capacidades de 200 kW, hasta 57.5 metros para capacidades de 5 MW, éstas últimos para emplazamientos fuera de costa.<sup>69</sup> El material más utilizado para la fabricación de aspas es la fibra de vidrio reforzada con resina de poliéster o con resina epóxica los cuáles logran una mejor resistencia.

**Cubo.** El cubo del rotor es el elemento al que se ensamblan las aspas y el que recibe la potencia que capta el rotor y la transmite a la flecha principal. El diseño de aerogeneradores de dos y tres aspas ha dado lugar a los siguientes tipos de cubo:

- Los *cubos rígidos* los cuales son utilizados para aerogeneradores de tres aspas, consisten en una estructura metálica hueca, éstos permiten que las aspas tengan un acoplamiento perfecto.
- Los cubos basculantes son utilizados para aerogeneradores de dos aspas, la diferencia con los rígidos es que permiten que las aspas se puedan mover, ligeramente, en la dirección perpendicular al plano del rotor y así reducir las cargas dinámicas.

**Nariz.** La nariz del rotor es una cubierta frontal en forma de cono que sirve para desviar el viento hacia el tren motor y mejorar la ventilación en el interior, para eliminar turbulencia indeseable en el centro frontal del rotor y para mejorar el aspecto estético.

### C. Sistema de transmisión.

De forma general, el sistema de transmisión de un aerogenerador está compuesto por la flecha principal, la caja de engranes y la flecha de alta velocidad. Para transformar la energía eólica en electricidad, un aerogenerador capta la energía cinética del viento por medio de su rotor aerodinámico y la transforma en energía mecánica que concentra sobre su eje de rotación o flecha principal, ésta energía se transmite a la flecha de un generador para producir electricidad.

**Flecha principal.** Tiene la función de captar la energía mecánica del rotor y transmitirla al generador.

**Caja de engranes.** Las cajas de engranes o de transmisión deben ser confiables y fáciles de mantener; para seleccionar una caja de engranes o de transmisión para aerogeneradores, ésta tiene que estar bien equilibrada en cuanto a capacidad de carga, tamaño y peso. Asimismo, deben operar con eficiencia alta y emitir poco ruido. La labor de la caja de transmisión es convertir las 22 revoluciones por minuto (RPM) del rotor a las 1500 RPM's que necesita girar el generador; lo cual lo logra hacer mediante un conjunto de engranes.

**Flecha de alta velocidad o flecha del generador.** Capta la energía resultante y la transmite al generador eléctrico.

---

<sup>69</sup> Energía Eólica, Oscar A. Jaramillo Salgado, CIE, UNAM, Mayo 2006.

## D. Generadores eléctricos.

En la construcción de aerogeneradores son utilizados tanto generadores eléctricos asíncronos como síncronos; ello depende del tipo de aerogenerador que se requiera: *aerogenerador de velocidad constante o de velocidad variable*.

- **Asíncronos.** En los generadores eléctricos asíncronos su potencia desarrollada es proporcional a la diferencia entre su *velocidad de sincronismo  $W_s$*  y la *velocidad angular* en su rotor  $W$ , como se ve en la Figura 11. Existen dos tipos de generadores: tipo jaula de ardilla o tipo rotor devanado. Este tipo de generadores son utilizados para construir *aerogeneradores de velocidad constante*; son llamados así, porque la velocidad angular del rotor no depende de la velocidad del aire, sino de la frecuencia de la red de interconexión, por lo que la velocidad del rotor permanece constante; por lo tanto, no ocupan el recurso eólico al cien por ciento, en la práctica se ha comprobado que por cuestiones técnicas y económicas esta velocidad de diseño es de 1.7 veces la velocidad promedio del emplazamiento.
- **Tipo jaula de ardilla.** Los generadores asíncronos de tipo jaula de ardilla son los más utilizados por su bajo costo, poco mantenimiento, porque son robustos y porque pueden conectarse directamente a la línea eléctrica a la que entregarán energía (a través de protecciones y medios de desconexión adecuados). Su desventaja principal radica en que utilizan potencia reactiva de la línea eléctrica a la que están conectados, ocasionando que el factor de potencia disminuya y tenga que ser mejorado con capacitores.
- **Tipo rotor devanado.** El uso de este tipo de generador ha aumentado en la industria eólica debido a diversas ventajas que se le han encontrado, la principal: facilidad de implementar métodos de conexión a línea más sencillos y confiables.

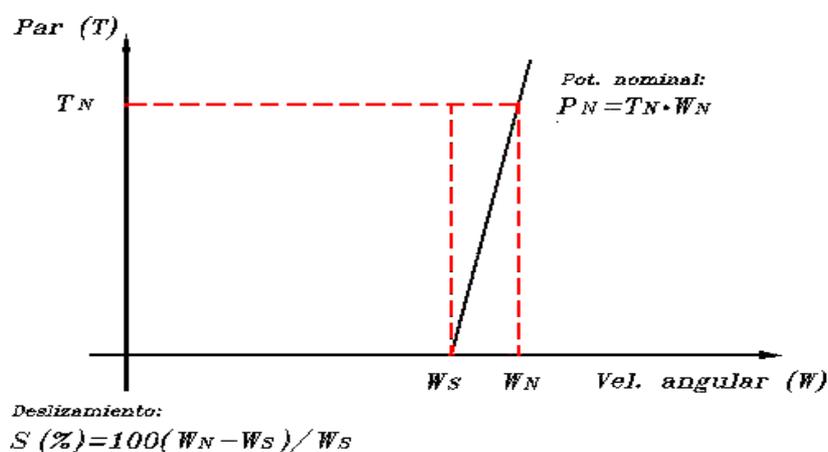


Figura 11. Relación entre el par y la velocidad angular de generadores asíncronos.<sup>70</sup>

*Nota:* Teóricamente, a la velocidad angular de sincronismo se obtiene potencia cero, mientras que la potencia nominal ( $P_N$ ) se logra a un deslizamiento +S. En la práctica, el deslizamiento +S toma valores que están entre 0.5% para generadores de gran potencia (del orden de MW) y 2% para generadores más pequeños (del orden de 100 kW).

**Funcionamiento.** El generador se conecta directamente a la red mediante un arrancador y un banco de capacitores que reducen su consumo de potencia reactiva.

<sup>70</sup> Energía Eólica, centrales eoloelectricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

Cuando un aerogenerador con generador asíncrono entra en funcionamiento se permite que su rotor aerodinámico gire libremente (con el generador eléctrico desconectado de la línea) hasta que la flecha del generador eléctrico alcance una velocidad ligeramente mayor que su velocidad de sincronismo; en ese momento, el generador se conecta a la línea y comienza a producir energía eléctrica, de frecuencia igual a la de la línea; esto corresponde a la velocidad de inicio de generación ( $V_i$ ) en la Figura 12. A partir de la velocidad de sincronismo, la magnitud de la potencia eléctrica que se entrega a la red aumenta en función de la cantidad de vientos intensos. Sin embargo, una vez que se alcanza la potencia nominal, a la velocidad nominal  $V_n$ , es necesario limitar la velocidad del rotor aerodinámico; ya que de lo contrario el incremento de la velocidad del viento podría ocasionar que el generador eléctrico opere por arriba de su potencia nominal. Si se mantuviera durante algunos minutos una condición de sobrecarga de 10% en el generador, se alcanzarían temperaturas que podrían dañar su devanado.

En todo el intervalo de operación normal de un generador asíncrono conectado a una línea eléctrica, su velocidad angular se mantiene limitada por la frecuencia de la línea. Para elevar la potencia de salida de un generador asíncrono desde su valor cero hasta su valor nominal, solo se necesita aumentar la velocidad angular del rotor aerodinámico en una cantidad menor que 1 R.P.M.. Por ello, a los aerogeneradores que utilizan generadores asíncronos conectados directamente a la red eléctrica se les conoce como *sistemas de velocidad constante*.

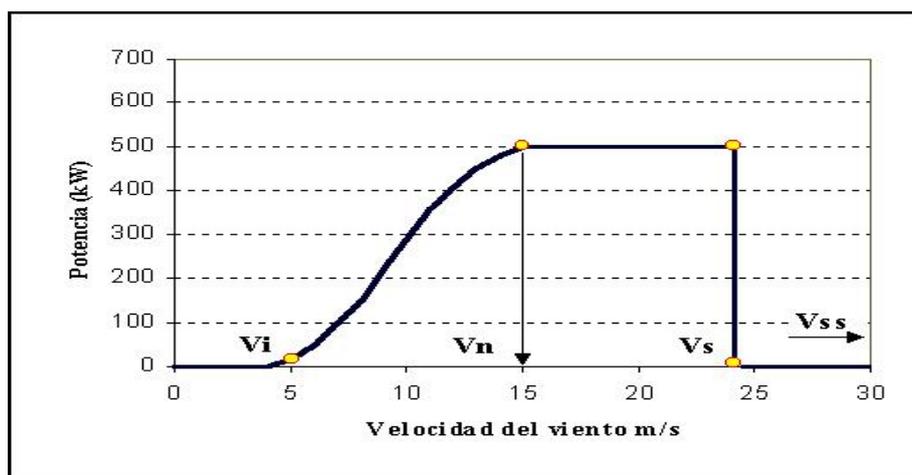


Figura 12. Curva de potencia hipotética de un aerogenerador de 500 kW con regulación ideal de potencia.<sup>71</sup>

**Valoración del sistema.** Los *sistemas de velocidad constante* en aerogeneradores tienen la ventaja de ser sencillos, confiables, de fácil mantenimiento y que sus componentes eléctricos y electrónicos son de bajo costo. Sus desventajas radican en el desgaste mecánico de algunos de sus componentes, en el consumo de potencia reactiva y en que su eficiencia está limitada por la frecuencia de la red.

Por otro lado, debido al principio de funcionamiento de las aspas del rotor, los cambios de velocidad del viento son transmitidos a la caja de engranes y por consiguiente, a la flecha y al generador. En el caso de una red eléctrica pequeña, los cambios en la velocidad del viento llegan a producir variaciones de voltaje que se traducen en mayores pérdidas en las líneas de transmisión y en mala calidad de la energía.

<sup>71</sup> Energía Eólica, centrales eoloeléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

- **Síncronos.** Este tipo de generadores son normalmente utilizados para construir *aerogeneradores de velocidad variable*; nombrados así, porque la velocidad angular de su rotor depende totalmente de la velocidad del aire, por lo tanto extraen más eficientemente la energía del viento en el emplazamiento. En los últimos años este tipo de sistemas han dominado el mercado eoloelectrónico por estas características.

**Funcionamiento.** En los aerogeneradores con sistema de velocidad variable, los generadores eléctricos no se conectan directamente a la red eléctrica, para permitir que la velocidad de rotación siga a la velocidad del viento produciendo electricidad de frecuencia variable. Para que ésta electricidad se pueda transferir a una línea eléctrica convencional, es necesario convertirla a la frecuencia con que opera dicha línea. Para lograrlo, se utiliza un acondicionador electrónico de potencia que se integra con un rectificador (para convertir la corriente alterna en corriente directa) y un inversor (para convertir la corriente directa en corriente alterna); ésta configuración se conoce como CA-CD-CA. (Figura 13).

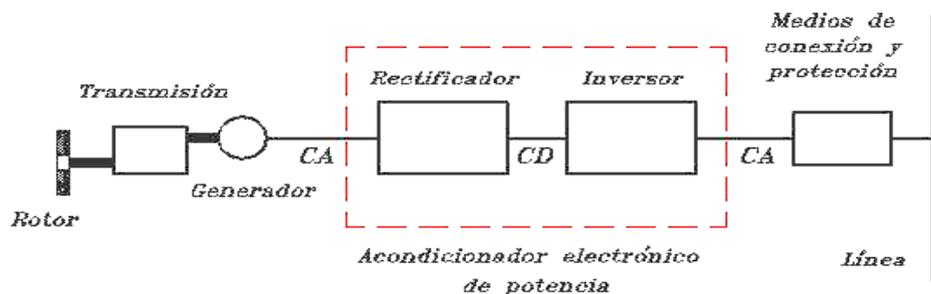


Figura 13. Sistema de velocidad variable con acondicionamiento CA-CD-CA.<sup>72</sup>

Al tener un sistema de velocidad variable, es posible entonces, acelerar o desacelerar la velocidad angular  $\omega$  del rotor a la velocidad del viento  $v$ . Para un valor determinado de Tip Speed Ratio (TSR) se obtiene la máxima eficiencia y producción de energía del aerogenerador; el TSR se define como:

$$TSR = \lambda = \frac{\tau_{aero} \cdot \omega_{aero}}{U_{viento}}$$

donde:

$\tau_{aero}$  = radio de las aspas del aerogenerador [m]

$\omega_{aero}$  = velocidad angular de la turbina en [rad/seg]

$U_{viento}$  = velocidad del viento en [m/s]

**Valoración del sistema.** El sistema de velocidad variable tiene entre sus ventajas una mayor eficiencia en la obtención de energía a través del recurso eólico, lo que permite que las variaciones de velocidad del viento sean absorbidas por las aspas y no

<sup>72</sup> Energía Eólica, centrales eoloelectrónicas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

se transmitan al generador, mejor calidad de energía producida y reducción de los efectos del desgaste mecánico. Sus desventajas consisten en que presentan pérdidas eléctricas por sus componentes electrónicos de potencia y aumento en cuanto equipo electrónico utilizado, con lo que aumentan sus costos de operación.

Como conclusión, estudios teóricos y de campo indican que un aerogenerador con un sistema de velocidad variable, es más eficiente en un 20 a 30 por ciento que uno de velocidad constante.

### **E. Sistemas de regulación de potencia de salida y velocidad angular.**

Los aerogeneradores están diseñados para producir energía eléctrica al menor costo posible (generalmente, para rendir al máximo a velocidades de 15 m/s). Los aerogeneradores no son diseñados para aumentar su eficiencia en vientos fuertes, porque no son muy comunes. Cuando existen vientos fuertes es necesario gastar parte del exceso de la energía en el viento para evitar daños en el aerogenerador, por lo que todos los aerogeneradores están diseñados con algún tipo de control de potencia. Hay dos formas de hacerlo con seguridad: por ángulo de paso y por pérdida aerodinámica o desprendimiento de flujo.

- **Aerogeneradores de regulación por cambio del ángulo de paso ("pitch controlled").** Consiste en un controlador electrónico ubicado en la turbina del aerogenerador, el cual va comprobando varias veces por segundo la potencia generada; cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas son vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo; así las palas tiene la característica de que son capaces de girar alrededor de su eje longitudinal (variar el ángulo de paso).

**Valoración del sistema.** El diseño de aerogeneradores controlados por cambio del ángulo de paso requiere una ingeniería muy desarrollada para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado. En este tipo de aerogeneradores, el controlador generalmente girará las palas unos pocos grados cada vez que el viento cambie, para mantener un ángulo óptimo que proporcione el máximo rendimiento a todas las velocidades de viento. El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele funcionar de forma hidráulica.<sup>73</sup>

- **Aerogeneradores de regulación por pérdida aerodinámica o desprendimiento de flujo ("stall controlled").** Las aspas de éste tipo de aerogeneradores están diseñadas aerodinámicamente de tal modo que, en el momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, se forme turbulencia en la parte de la pala que no da al viento, esta pérdida de sustentación evita que la fuerza ascensional de la pala actúe sobre el rotor, por medio de la aerodinámica y pérdida de sustentación, conforme aumenta la velocidad real del viento en la zona, el ángulo de ataque de la pala del rotor también aumentará, hasta llegar al punto de empezar a perder sustentación.

La pala del rotor de un aerogenerador regulado por pérdida aerodinámica está ligeramente torsionada a lo largo de su eje longitudinal, esto es así en parte para

---

<sup>73</sup> Tesis: Producción de energía eléctrica a partir de energías renovables e hidrógeno. Autores: Juan Molina Martínez, Jesús Rosas Medellín, Jesús Serrano García. Director de Tesis: M.I. Rodolfo Lorenzo Bautista. Codirector: Ing. Pedro Matabuena Cascajares, 2006.

asegurar que la pala pierda la sustentación de forma gradual, en lugar de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza su valor crítico.

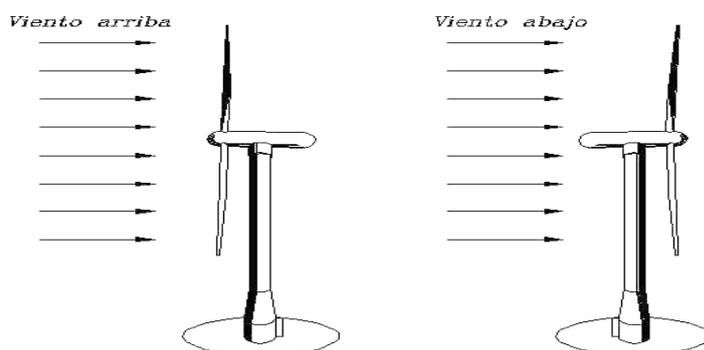
**Valoración del sistema.** La principal ventaja de este sistema es que se evitan las partes móviles del rotor y un complejo sistema de control, por otro lado, la regulación por pérdida aerodinámica representa un problema de diseño aerodinámico muy complejo, además del diseño de la dinámica estructural de toda la turbina, para evitar las vibraciones provocadas por la pérdida de sustentación.<sup>74</sup>

- **Aerogeneradores de regulación activa por pérdida aerodinámica.** Técnicamente, las máquinas de regulación activa por pérdida aerodinámica se parecen a las de regulación por cambio del ángulo de paso, en el sentido de que ambos tienen palas que pueden girar y en que el mecanismo de cambio del ángulo de paso se opera mediante sistemas hidráulicos o motores eléctricos paso a paso.

**Valoración del sistema.** Una de las ventajas de la regulación activa por pérdida aerodinámica es que la producción de potencia puede ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva y que la máquina puede funcionar casi exactamente a la potencia nominal a todas las velocidades de viento; por lo que a altas velocidades de viento la producción de potencia eléctrica se mantiene constante. Sus principales desventajas radican en su costo y complejidad.<sup>75</sup>

## F. Sistemas de orientación.

Para que un aerogenerador opere con una eficiencia alta, su rotor debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento; existen dos formas de hacerlo *con rotor a barlovento* y *con rotor a sotavento*. En el primero, los aerogeneradores se colocan con el rotor de cara al viento; su principal ventaja es que evitan el abrigo del viento tras la torre (la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño). Para *aerogeneradores con rotor a sotavento* su rotor se sitúa en la dirección contraria al viento, es decir, a sotavento. Una ventaja importante es que el rotor puede hacerse más flexible, lo que conlleva a tener una ventaja tanto en cuestión de peso como de dinámica estructural del aerogenerador, es decir, las palas se curvarán a altas velocidades del viento, con lo que le quitarán parte de la carga a la torre. Su desventaja radican en los cambios de potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga en la turbina que con un diseño corriente arriba.

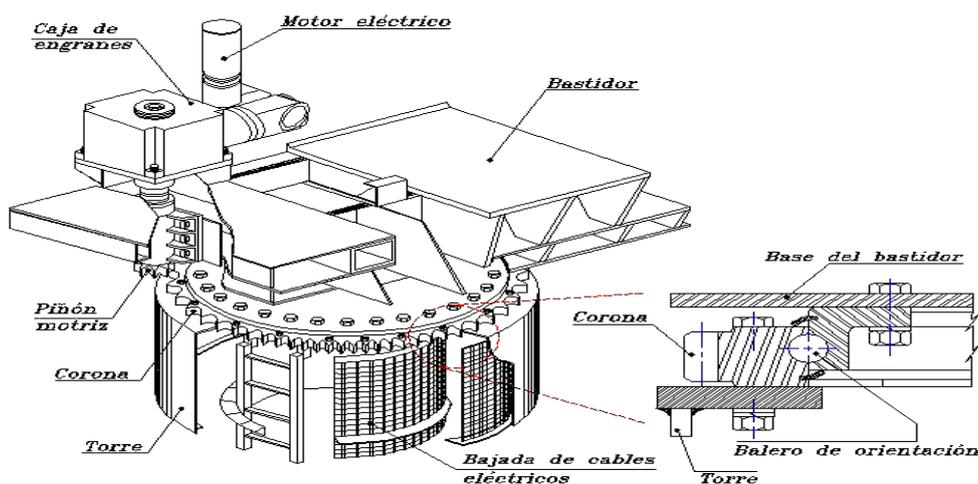


<sup>74</sup> Ídem

<sup>75</sup> Ibídem 73

**Figura 14. Configuraciones para la orientación de aerogeneradores con respecto al viento.**<sup>76</sup>

La mayoría de los aerogeneradores en el mercado actual son del tipo viento arriba o barlovento y utilizan servomecanismos para mantener el plano del rotor en posición perpendicular a la dirección del viento; básicamente estos mecanismos son contruidos a partir de un cojinete y una corona dentada. La corona está acoplada a piñones montados sobre dos o más servomotores (eléctricos o hidráulicos). Normalmente el subsistema se encuentra habilitado, además, con un freno mecánico. El servomecanismo responde a señales de control que son generadas por el controlador electrónico del aerogenerador, en respuesta a la medición de la dirección del viento hecha por sensores como veletas.



**Figura 15. Servomecanismo para orientación de rotores viento arriba o barlovento.**<sup>77</sup>

### G. Sistemas de seguridad.

Los aerogeneradores cuentan dos o más subsistemas de seguridad enfocados a minimizar la ocurrencia de fallas que pudiera traducirse en daño a los humanos y al equipo mismo. Los subsistemas operan en forma individual o coordinada, su funcionamiento consiste en controladores electrónicos locales que detectan anomalías en la operación de los equipos como: velocidad angular y temperaturas por arriba del máximo aceptable, pérdida de presión en controladores hidráulicos, exceso de vibraciones, pérdida de carga, etc.

Comúnmente, la acción de seguridad es el paro forzado del aerogenerador, el cual puede ser llevado a cabo por distintos medios como: freno de disco de alguna de las flechas, por ángulo de paso de las aspas, control de orientación al viento. Dependiendo del modelo del aerogenerador se le asigna uno de ellos como el medio principal de frenado.

### H. Sistemas de control local.

Cada aerogenerador en una central eoloeléctrica tiene un sistema electrónico para controlar y tomar datos (SCADA); la constitución física de los SCADA está basada en

<sup>76</sup> Energía Eólica, centrales eoloeléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

<sup>77</sup> Energía Eólica, centrales eoloeléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

microcontroladores o en controladores lógicos programables (PLC's), sus funciones principales son las siguientes:

- Controlar el proceso de inicio de operación y de conexión a la línea eléctrica, regular la velocidad y la potencia de salida, orientar el rotor con respecto a la dirección del viento, controlar el proceso de paro forzado; además de controlar los elementos auxiliares dedicados a mantener las mejores condiciones de operación normal.
- Ser la interfaz local entre el operador y la máquina.
- Adquirir y procesar los datos del comportamiento operacional de cada aerogenerador.
- Transmisión de datos con los centros de supervisión.

Cada SCADA está diseñado de acuerdo al modelo de aerogenerador al que sea aplicado; es decir, cada sistema cuenta con sus propios algoritmos y secuencias lógicas. Los SCADA tienen características comunes, pero pueden llegar a ser muy diferentes de una marca de aerogenerador a otra.<sup>78</sup>

### **I. Sistema de refrigeración.**

Los generadores necesitan refrigeración durante su funcionamiento. En la mayoría de turbinas la refrigeración se lleva a cabo mediante encapsulamiento del generador en un conducto, utilizando un gran ventilador para la refrigeración por aire, aunque algunos fabricantes usan generadores refrigerados por agua. Los generadores refrigerados por agua pueden ser construidos de forma más compacta, lo que también les proporciona algunas ventajas en cuanto a rendimiento eléctrico se refiere, aunque cuentan con un radiador en la góndola para eliminar el calor del sistema de refrigeración por líquido.

### **J. Torres de aerogeneradores.**

La torre del aerogenerador soporta la góndola y el rotor. En los grandes aerogeneradores las torres tubulares pueden ser de acero, de celosía o de hormigón. Las más utilizadas hoy en día son las de acero, las otras dos prácticamente han desaparecido en la industria eólica.

**Torres tubulares de acero.** Son fabricadas en secciones de 20-30 metros con bridas en cada uno de los extremos, y son unidas con pernos "in situ". Las torres son tronco-cónicas (es decir, con un diámetro creciente hacia la base), con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

Ese tipo de torres integran medios seguros para que el personal de mantenimiento suba al chasis, tienen un aspecto estético agradable, su instalación es fácil y rápida, requieren poco mantenimiento, su base ocupa poco espacio y proporciona el medio de protección e instalación para equipos de control y sistemas eléctricos en piso. Algunas de sus desventajas son que tienen un costo alto, su fabricación requiere de maquinaria especializada y su transportación es difícil y costosa

### **K. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.**

Los impactos de rayos en aerogeneradores ocasionan daños severos a componentes importantes; en particular, las aspas pueden sufrir daños catastróficos. Otras áreas de posible daño son los sistemas eléctricos, los sistemas de control y las líneas de

---

<sup>78</sup> Ibídem 73

comunicación de datos.<sup>79</sup> La probabilidad de ocurrencia de este tipo de problemas depende del nivel ceraúnico (Intensidad de rayos y tiempo de retorno de tormentas eléctricas) del emplazamiento. En mayor o menor medida, los aerogeneradores comerciales cuentan con medios de protección contra rayos, los cuales se refuerzan incorporando dispositivos supresores de transitorios (tubos de descarga por gas o varistores de óxido metálico) como se muestra en la Figura 16.

Por otra parte, la efectividad de los medios y elementos de protección depende en gran medida de la efectividad del *sistema de tierras* de la central. Por lo tanto, se hace necesario un excelente diseño al respecto, así como un control de calidad estricto durante su construcción. La figura 17 muestra un ejemplo de una red de tierra para una central eoloeléctrica, se muestra un arreglo de 9 por 4 aerogeneradores para un terreno plano, donde cada aerogenerador cuenta con una malla de tierra en la base de la cimentación de las torres. Estas mallas están unidas por medio de cable desnudo de alto calibre y todas las conexiones están soldadas.

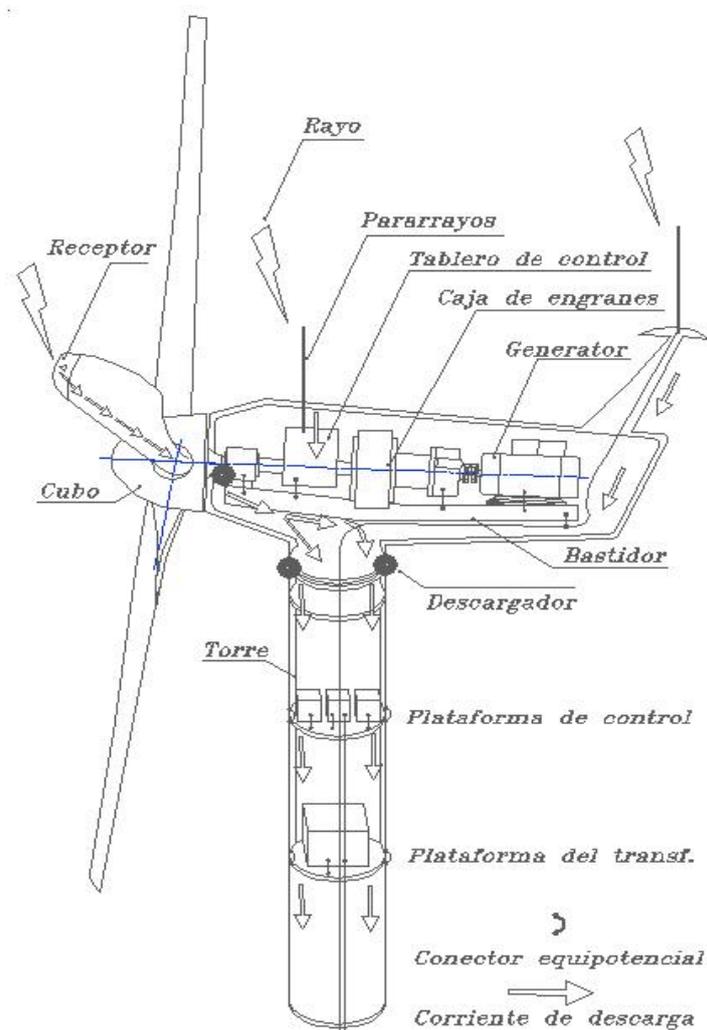


Figura 16. Elementos de protección contra rayos.<sup>80</sup>

<sup>79</sup> *Lighting protection for wind turbine installations*, Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, Wind R&D International Energy Agency Programme.

<sup>80</sup> *Energía Eólica, centrales eoloeléctricas*, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

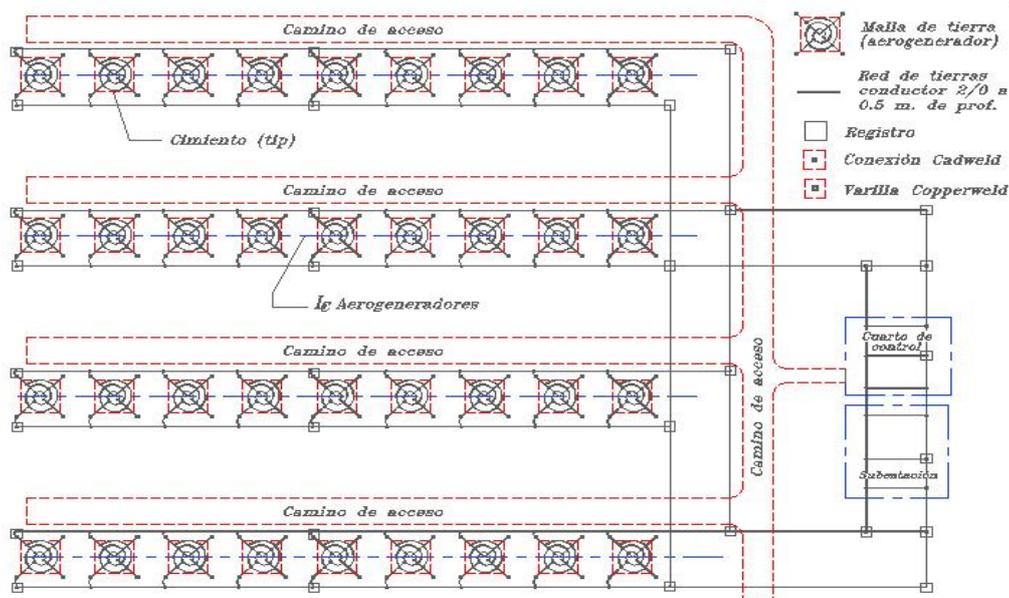


Figura 17. Ejemplo de un sistema de tierras para una central eolieléctrica. <sup>81</sup>

Los equipos que van conectados al sistema de tierras son desde la torre del aerogenerador, la carcasa y neutro del generador, la caja de engranes, tanque y neutro del transformador de distribución, pantallas metálicas de los cables de energía, tableros de fuerza y control, sistema de protección contra sobretensiones (apartarrayos) hasta los sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (pararrayos); entre sus funciones principales, los sistemas de tierras establecen un camino de retorno para las corrientes de falla y previenen daños en el sistema eléctrico

## L. Sistemas Auxiliares.

Los equipos o instalaciones que conforman los sistemas auxiliares en un parque eólico son: alumbrado, sistemas contra incendio, transformador de servicios, planta de emergencia y baterías.

### 2.1.3 Configuración básica de una central eolieléctrica

La configuración de una planta eolieléctrica va de acuerdo con el tipo de emplazamiento donde se encuentre, por ejemplo para un terreno plano, la energía eléctrica que produce cada aerogenerador se recolecta mediante una línea eléctrica que típicamente opera a voltajes de distribución (menores que 25 kV); ya que la producción individual de los aerogeneradores es en baja tensión (480 V), se utilizan transformadores para elevar el voltaje. Dependiendo de las capacidades de los aerogeneradores y de los transformadores, se utiliza un transformador para cada aerogenerador o para un grupo de ellos. Típicamente las líneas de recolección son subterráneas. Por otro lado, normalmente, se utilizan transformadores trifásicos del tipo pedestal en conexión estrella-delta, con neutro a tierra y con enfriamiento tipo OA (Sumergidos en aceite con enfriamiento natural). En algunos casos los transformadores se instalan dentro de las torres tubulares.

<sup>81</sup> Energía Eólica, centrales eolieléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

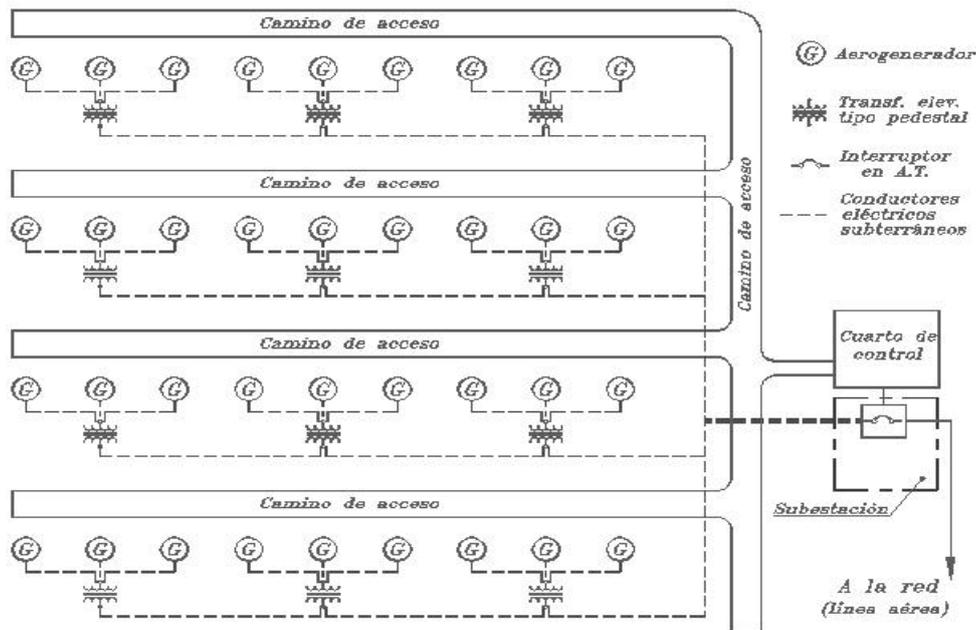


Figura 18. Configuración típica de una central eolieléctrica en terrenos planos.<sup>82</sup>

**Distribución de aerogeneradores.** La distribución de los aerogeneradores en una central eolieléctrica es un aspecto muy relevante en cuanto a la economía y confiabilidad del proyecto. Por una parte, si las distancias entre aerogeneradores (tanto en la dirección del viento como en la dirección perpendicular) no son las adecuadas, los *efectos de estela* tienden a reducir significativamente la cantidad de energía producible. Asimismo, la turbulencia que inducen los rotores en la estela puede incrementar las cargas dinámicas en las máquinas que están atrás de otras, con relación a la dirección del viento, y con ello, reducir su vida útil o aumentar la probabilidad de fallas. Por otra parte, si los aerogeneradores se separan más de lo conveniente, los costos del resto de los elementos de la planta (líneas de recolección, caminos de acceso, líneas de comunicación de datos) se hacen mayores y también se incrementa el costo de la renta o compra del terreno. Además, se desaprovecha parte del recurso eólico disponible en un área determinada.

Por ejemplo, la Figura 19 muestra los resultados teóricos de un estudio para 36 aerogeneradores ubicados en los nodos de una malla rectangular de 6 por 6 turbinas, espaciadas 10 diámetros en la dirección del viento dominante y para diferentes separaciones en la dirección perpendicular.<sup>83</sup>

<sup>82</sup> Energía Eólica, centrales eolieléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

<sup>83</sup> Lissaman, P.B.S., *et al.*, *Critical issues in the design and assesment of wind turbine arrays*, procedins of the 4th International Symposium on Wind Energy Systems, ISBN 0906085, Estocolmo, Suecia, 1982.

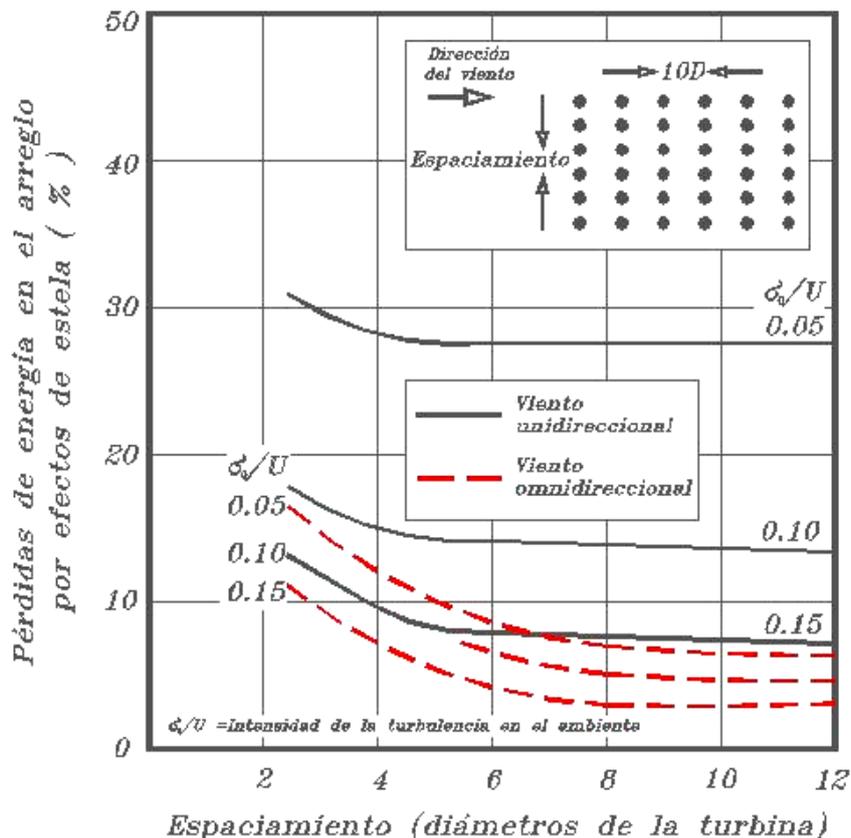


Figura 19. Resultados teóricos de un estudio sobre pérdidas de energía por efecto de estela en terreno plano.<sup>84</sup>

**2.1.4. Subestación principal de un parque eólico**

Dependiendo del tamaño del parque, éste puede conectarse a líneas de distribución o de transmisión. En el segundo caso el emplazamiento deberá contar con una subestación eléctrica con capacidad disponible para evacuar la energía generada.

La subestación eleva el voltaje al nivel de transmisión (115 kV o mayor) y de ahí sale una línea aérea para su interconexión con el sistema eléctrico convencional. El diseño de ésta subestación (capacidad, niveles de voltaje, tipo de arreglo, etc.) deberá realizarse con los procedimientos y normas de ingeniería aplicables y debe considerarse dentro del proyecto de la central. Entre los aspectos más importantes a tomar en cuenta para una subestación están: tensión nominal en kV en alta y baja tensión, tipo de conexión y capacidad de los transformadores de potencia, tipo de arreglo de las barras colectoras, corriente nominal y capacidad de corto circuito.

**2.2 IMPLICACIONES TÉCNICAS**

Un aspecto importante que interviene en la industria eólica es la llamada *fuerza de Coriolis*, que no es más que una fuerza de curvatura, la cual debido a la rotación del planeta, *cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha y en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda*, esta fuerza es visible, por ejemplo, en

<sup>84</sup> Energía Eólica, centrales eoloelectricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.

las vías del ferrocarril, una está más desgastada que otra; también la podemos ver en la cuenca de un río, un lado está más excavado que otro, del lado que se trate depende del hemisferio en donde estemos.

La fuerza de Coriolis es importante para la industria eólica porque afecta la dirección del viento en el planeta: en el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj (visto desde arriba) cuando se acerca a un área de bajas presiones y en el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.

La velocidad con que un aerogenerador gire depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento; a mayor densidad del aire mayor energía recibirá la turbina, lo mismo ocurre con el área de barrido del rotor mientras más grande sea ésta mayor cantidad de energía capturarán. La densidad del aire es de  $1,225 \text{ kg/m}^3$  a presión atmosférica normal y a  $15^\circ \text{ C}$ ; disminuye ligeramente con la humedad y aumenta cuando hace frío. La potencia obtenida por un aerogenerador se define como:<sup>85</sup>

$$P = 1/2 \rho v^3 \pi r^2$$

Donde:

P= potencia del viento medida en Watts.

$\rho$  = (rho) = densidad del aire seco =  $1.225 \text{ kg/m}^3$  (medida a la presión atmosférica promedio a nivel del mar y a  $15^\circ \text{ C}$ ).

v = velocidad del viento medida en m/s.

$\pi$  = (pi) =  $3.1415926535\dots$

r = radio en metros.

Otro de los aspectos técnicos importantes, es el uso de anemómetros para medir la velocidad del viento y su dirección, esto con la ayuda de una veleta. Existen varios tipos de anemómetros: electrónicos, mecánicos, para climas fríos, etc. Para la industria eólica se utilizan los anemómetros más precisos del mercado que pueden ser mecánicos o electrónicos; el anemómetro es colocado a la misma altura a la que se consideran poner los aerogeneradores. Los aerogeneradores para un proyecto se seleccionan en función del régimen de viento en el sitio de la instalación de la central.

**Tabla 5. Clasificación de aerogeneradores por tipo de régimen de viento de aplicación.**<sup>86</sup>

Parámetros	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
<b>V ref (m/s)</b>	50	42.5	37.5	30
<b>V anual (m/s)</b>	10	8.5	7.5	6
<b><math>\sigma_{v/v}</math> turbulencia</b>	0.17	0.17	0.17	0.17

**V ref** : valor máximo de la velocidad promedio del viento en un intervalo de 10 minutos.

**V anual** : velocidad media anual a la altura del eje de la turbina.

**$\sigma_{v/v}$  turbulencia**: turbulencia máxima en un intervalo de 10 minutos.

Como las clases I a IV no cubren sitios con velocidades medias anuales mayores que  $10 \text{ m/s}$ , informalmente se habla de una clase 0, que correspondería a los aerogeneradores aplicables en sitios con un régimen de viento excelente.<sup>87</sup>

<sup>85</sup> [www.windpower.org](http://www.windpower.org) , Danish Wind Industry Association

<sup>86</sup> Estado del Arte y Tendencias de la Energía Eoloeléctrica. Instituto de Investigaciones Eléctricas / Programa Universitario de Energía (UNAM) 1ra. Edición 1998.

<sup>87</sup> *Lighting protection for wind turbine installations*, Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, Wind R&D International Energy Agency Programme.

### 2.2.1 Clasificación de aerogeneradores según velocidad angular del rotor y potencia de salida <sup>88</sup>

**TIPO A. Velocidad constante.** Se utiliza generalmente en aerogeneradores de velocidad constante, se utilizan generadores tipo jaula de ardilla conectados a la red eléctrica a través de un transformador; el generador consume potencia reactiva por lo que se usa un banco de capacitores para compensar el consumo. Utiliza un arrancador electrónico para evitar la corriente de arranque que son de 7 u 8 veces la corriente nominal al momento de iniciar su funcionamiento e intentar conectarse a la red. <sup>89</sup>

**TIPO B. Velocidad variable con convertidor parcial de frecuencia.** Esta configuración también es llamada generador de inducción doblemente alimentado (GIDA), su utilización actualmente va en aumento; el GIDA consiste en un generador de rotor devanado cuyos devanados de estator se conectan directamente a la red trifásica de frecuencia constante y los devanados del rotor se acoplan a una fuente de voltaje bidireccional (convertidor IGBT); es *doblemente alimentado* porque el voltaje en el estator es aplicado por la red y el voltaje en el rotor es inducido por el convertidor. El GIDA presenta entre sus ventajas tener la capacidad de controlar la potencia activa y reactiva, además de que cuando existe fluctuación de voltaje el GIDA puede producir cierta cantidad de potencia reactiva a la red o absorberla de ella, para propósitos de control de voltaje; por otro lado, su desventaja principal es que necesita anillos deslizantes. <sup>90</sup>

**TIPO C. Velocidad variable con convertidor total de frecuencia.** Es utilizada para aerogeneradores que trabajan bajo el esquema conocido como “rotunda velocidad variable”, ya que el generador se conecta a la red a través de un convertidor total de frecuencia, por lo que las velocidades de viento no son de importancia, ni las oscilaciones en frecuencia que éstas produzcan. El convertidor entrega a la red energía eléctrica a una frecuencia fija, este convertidor también ajusta el consumo de potencia reactiva del generador, por lo que se pueden usar generadores síncronos o asíncronos. Debido a estas características algunos aerogeneradores con este esquema ya no requieren de caja de engranes, sin embargo, en cambio necesitan un generador más grande y con más polos. <sup>91</sup>

### 2.2.2 Aspectos técnicos del emplazamiento

**Rugosidad.** La *rugosidad* en el emplazamiento donde se vaya a construir el parque eoloelectrónico está directamente relacionado con la velocidad del viento y por ende, con la producción de electricidad. Mientras mayor sea la rugosidad del terreno, mayor será la fricción que encuentre el viento a su paso. La rugosidad de un emplazamiento se clasifica por categorías, por ejemplo, una alta rugosidad de clase 3 ó 4 se refiere a un paisaje con muchos árboles y edificios, mientras que a la superficie del mar le corresponde una rugosidad de clase 0.

Además de tener un buen recurso eólico existen otros elementos que técnica o económicamente pueden favorecer el desarrollo de proyectos eoloelectrónicos, estos son:

---

<sup>88</sup> Tesis: Producción de energía eléctrica a partir de energías renovables e hidrógeno. UNAM-FI, México, D.F., 2006.

<sup>89</sup> *Ibidem* 73

<sup>90</sup> *Ibidem* 73

<sup>91</sup> *Ibidem* 73

- Poca complejidad del terreno.
- Turbulencia baja.
- Poca altura sobre el nivel medio del mar.
- Interconexión a sistemas eléctricos robustos.
- Interconexión a líneas de alto voltaje.
- Cercanía con la línea de interconexión.
- Facilidad de acceso al sitio.

**Efecto estela.** Parte de la energía del viento que pasa a través de una turbina eólica es aprovechada por el aerogenerador para ser convertida en energía mecánica, por lo que el viento que abandona la turbina tiene un contenido energético menor que el que entra y presenta un cambio en sus características de flujo al salir del rotor. Este efecto crea una estela tras la turbina, es decir, una larga cola de viento con bastante turbulencia si se compara con el viento que llega a la turbina.

**Efecto parque.** Si las distancias entre aerogeneradores (tanto en la dirección del viento como en la dirección perpendicular) no son las adecuadas, los efectos del parque tienden a reducir significativamente la cantidad de energía producible; además de que la turbulencia que inducen los rotores pueden incrementar las cargas dinámicas en las máquinas que están atrás de otras, con relación a la dirección del viento, y con ello, reducir su vida útil o aumentar la probabilidad de fallas.

**Obstáculos.** Los obstáculos del viento tales como edificios, árboles, formaciones rocosas, etc., pueden disminuir la velocidad del viento en forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos.

### 2.2.3 Producción de energía

Para conocer lo más exacto posible cuál será la producción de energía en una eoloeléctrica es necesario tomar en cuenta todos los obstáculos del viento locales en la dirección del viento dominante cerca de las turbinas, es decir, a no más de 700 m. de éstas. Los datos se obtienen generalmente tomando la velocidad del viento en intervalos de horas a lo largo del día, estos datos al ser graficados, nos indican la magnitud de las variaciones que tiene el viento en ese emplazamiento y por consiguiente la producción de energía que tendría la turbina eólica, aunque las variaciones en la velocidad del viento son compensadas en algunas ocasiones por la inercia del rotor de la turbina eólica.

Otro aspecto importante a considerar en la producción de energía son las *turbulencias*, las cuales son ráfagas de viento que cambian tanto en velocidad como en dirección; la mayoría de las turbulencias son creadas por los obstáculos que va encontrando el viento a su paso, tales como edificios, formaciones rocosas, árboles, etc. además de que ocasionan turbulencias, los obstáculos, disminuyen la velocidad del viento lo cual puede llegar a representar una pérdida de energía del viento de alrededor del 10 por ciento. La presencia de turbulencias en un emplazamiento provocan roturas y desgastes mayores en una turbina eólica; además de que la energía del viento en éstas condiciones no es utilizada eficientemente por las turbinas. Aunque las torres de los aerogeneradores son construidas suficientemente altas para tener una velocidad de viento más o menos constante y evitar así las turbulencias, existen ocasiones que no es suficiente.

### 2.2.4 Conexión a la red

Los grandes aerogeneradores tienen que ser conectados a la red eléctrica. Para los proyectos de menores dimensiones es fundamental que haya una línea de alta tensión de 10 - 30 kV lo más cerca posible para disminuir los costes del cableado; además los generadores de las grandes turbinas eólicas modernas generalmente producen la electricidad a 690 V. Un transformador colocado cerca de la turbina o dentro de la torre de la turbina convierte la electricidad en alta tensión (normalmente hasta 10 - 30 kV). La red eléctrica próxima al(a los) aerogenerador(es) deberá ser capaz de recibir la electricidad proveniente de la turbina, si ya hay muchas turbinas conectadas a la red, la red puede necesitar refuerzo, es decir, un cable más grande, conectado quizás más cerca de una estación de transformación de más alto voltaje.<sup>92</sup>

#### **Efecto sobre las líneas de transmisión y distribución.<sup>93</sup>**

- a) Localmente, las variaciones de la potencia eoloeléctrica podrían llegar a causar variaciones de voltaje con una magnitud que podría ocasionar el parpadeo de las lámparas fluorescentes. Usualmente, esto se evita conectando las centrales eólicas a líneas de alto voltaje.
- b) Las corrientes que demandan los generadores de inducción, en su inicio de operación, pueden ocasionar transitorios y caídas de voltaje.

En términos generales, las centrales eoloeléctricas deben cumplir con los requisitos de calidad de potencia eléctrica establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional.

---

<sup>92</sup> [www.windpower.org](http://www.windpower.org) : Danish Wind Industry Association

<sup>93</sup> *Ibidem* 73

## 2.3 IMPLICACIONES SOCIALES

### 2.3.1 Fuentes de empleo

La generación eoloelectrónica es una de las fuentes de energía renovable que más fuentes de empleo genera, sobre todo en medianas y pequeñas empresas. Para finales de 1996, la Asociación Europea de Energía Eólica estimó que en Europa ya existían más de 20,000 personas trabajando en la industria eoloelectrónica. Al día de hoy esta cifra es casi el triple.<sup>94</sup>

Se estima que por cada puesto de trabajo en la fabricación, instalación, operación y mantenimiento de aerogeneradores se crea al menos otro puesto de trabajo en sectores asociados (asesorías, investigación, finanzas, etc.)<sup>95</sup>

**Tabla 6. Relación Componentes / Empleos.**<sup>96</sup>

Componentes	Empleos: Hombres /año
Palas	50
Torre	37
Capota + Protección del buje	11
Chasis	10
Transformador	5
Otros	12
<b>Total</b>	<b>125</b>

### 2.3.2 Desarrollo regional

La construcción de una planta de generación eléctrica en cualquier región siempre va a traer consigo beneficios económicos y sociales, como la creación de empleos y del mejoramiento de la infraestructura en la región como caminos, puentes, creación de industrias, etc..

### 2.3.3 Seguridad pública

Los riesgos de accidentes en la industria eólica están asociados a la fabricación de sus componentes (generadores, cajas de transmisión, etc.) más que a la construcción o armado de los mismos aerogeneradores.

Por otro lado, la construcción de un parque eoloelectrónico requiere de infraestructura civil y eléctrica para poder llevar hasta el lugar la maquinaria necesaria para la instalación de los aerogeneradores. La transportación de los aerogeneradores es similar al transporte de equipo pesado y se transportan en cuatro partes: carcasa, aspas, torre y transformadores, por ejemplo, en un aerogenerador de 600 kW, su carcasa pesa cerca de 20 toneladas, su rotor conformado por sus tres aspas y el cubo, pesan alrededor de 9 toneladas y por último, la torre (45 metros de altura) que se transporta típicamente en dos secciones, pesa 30 toneladas aproximadamente.

<sup>94</sup> BTM Consult ApS. International Wind Energy Development. <http://www.btm.dk>

<sup>95</sup> Martínez, Antonio, "Situación y perspectivas de la energía eólica en Europa", European Wind Energy Association, *libro de ponencias*, Jornadas de Energía Eólica, Santiago de Compostela, España, 1997.

<sup>96</sup> CIE, UNAM, 2006.

Algunos de los aspectos que más preocupa a lo pobladores cercanos a un parque eoloeléctrico, es que falle la estructura de alguna de las aspas y ocasione que un fragmento salga disparado hacia sus poblados; al respecto se han hecho estudios y pruebas para situaciones críticas como una falla general de los sistemas de seguridad o una falla estructural de una aspa; para lo que se estima que un proyectil no viajaría más de 800 metros y que sin la condición de *embalamiento* no iría más allá de 350 metros. Asimismo, estos estudios sugieren que es muy poco probable que caigan sobre una persona, sobretodo si dentro de dicho perímetro no existen viviendas, caminos, zonas de esparcimiento, etcétera.<sup>97</sup>

A la fecha, existen miles de aerogeneradores instalados en centrales eoloeléctricas alrededor del mundo, algunos de ellos ya tienen operando más de 15 años. Aunque en ciertas ocasiones han ocurrido fallas graves en centrales eoloeléctricas también lo es que no han ocasionado daños a personas ajenas a las centrales.<sup>98</sup>

En cuanto a la seguridad pública, una central eoloeléctrica no implica riesgos importantes; es decir, una falla catastrófica que llegue a destruir todos los aerogeneradores de una central eoloeléctrica no significaría nada al compararse con una catástrofe en otro tipo de centrales o un gran incendio que involucre cantidades importantes de combustibles fósiles.

## 2.4 IMPLICACIONES ECONÓMICAS

Los factores principales que influyen en la economía de un proyecto eoloeléctrico son:

- Velocidad del viento en el sitio de construcción.
- Infraestructura preexistente.
- Lejanía con el punto de interconexión.
- Diseño de la central.
- Grado de dificultad para construir, mantener y operar la central.
- Confiabilidad y comportamiento de las máquinas.
- Condiciones de financiamiento.
- Beneficios económicos.
- Condiciones del marco regulador en cuanto a los lineamientos para que las compañías eléctricas reciban la producción eoloeléctrica.

El precio de la electricidad en cada país es un asunto de política económica y por ello las estrategias tomadas son distintas en todos lados, aunque todas tienen el mismo objetivo: colocar a la oferta eoloeléctrica en una posición económicamente competitiva.

En algunos casos, la competencia se ha dado en un mercado libre, es decir, donde la generación eoloeléctrica compite con otras tecnologías en igualdad de circunstancias; en otros, el Estado ha tenido que intervenir con distintas tácticas para equilibrar la oferta barata, en su mayoría éstas tácticas tienen mucho que ver con el alto impacto ambiental que ofrece la oferta eoloeléctrica, ya que se considera relativamente inofensiva para el medio ambiente.

---

<sup>97</sup> *Lighting protection for wind turbine installations*, Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, Wind R&D International Energy Agency Programme.

<sup>98</sup> Energía Eólica, Oscar A. Jaramillo Salgado, CIE, UNAM, Mayo 2006.

### 2.4.1 Indicadores económicos principales en el ámbito internacional

**Costo de inversión.** De acuerdo con CFE, los montos de la inversión para estos sistemas son de 1,400 USD/kW, con un costo de generación de 4.34 centavos de dólar por kWh (¢USD/ kWh) <sup>99</sup> se estima que para el 2020 sean menores a los 3¢ de USD por kWh.<sup>100</sup> Por supuesto, el costo puede variar, esto de acuerdo al lugar donde sea construido el proyecto, por ejemplo, un costo más bajo puede corresponder a un proyecto emplazado tierra adentro, mientras que un costo alto puede corresponder a una central eoloeléctrica construida fuera de costa bajo condiciones relativamente adversas.

Los costos de inversión en centrales eoloeléctricas pueden variar significativamente en función de varios factores, entre ellos: ubicación geográfica del proyecto, infraestructura disponible (camino de acceso, distancia a la red eléctrica), características del suelo, tipo de terreno (complejidad orográfica) o como algunas situaciones que pueden llegar a presentarse, por ejemplo la dificultad para instalar los aerogeneradores por la presencia de vientos fuertes durante el período de construcción.

En la Tabla 7 se muestran los indicadores de la distribución del costo de inversión en centrales eoloeléctricas, la cual varía de un proyecto a otro.

**Tabla 7. Distribución de costos de inversión en centrales eoloeléctricas.** <sup>101, 102</sup>

Concepto	(%)
Aerogeneradores	60 - 70
Gastos de importación (Con arancel cero)	1 - 1.5
Transportación con seguros	0.5 - 3.5
Obra civil	8 - 13
Obra eléctrica	8 - 12
Obra de interconexión	6 - 8
Instalaciones	1 - 2
Control centralizado	0.2 - 0.5
Ingeniería y administración	2 - 4
Costos legales	1 - 2
Cuotas bancarias	0.5 - 1.5
Intereses durante construcción	1 - 2.5
Garantía extendida	0.5 - 1
Contingencias	1 - 3

Cuando se necesita tomar la decisión de que proyecto es el mejor, no necesariamente será el que tenga una menor inversión monetaria; para esto es utilizado un parámetro llamado *costo nivelado de producción (CNP)* y se define como: el costo de unidad de electricidad (kWh) promedio durante la vida útil de la central y está dado por:<sup>103</sup>

$$CNP = \frac{I + \sum_{t=1}^n (OM_t + RC_t)(1+r)^{-t} - SV(1+r)^{-n}}{\sum_{t=1}^n PAE_t(1+r)^{-t}}$$

<sup>99</sup> Balance Nacional de Energía 2003, SENER 2004, México.

<sup>100</sup> NREL Energy Analysis Office, [www.nrel.gov/analysis/docs/cost\\_curves\\_2020.ppt](http://www.nrel.gov/analysis/docs/cost_curves_2020.ppt).

<sup>101</sup> The economics of wind energy, European Wind Energy Association, 1997.

<sup>102</sup> Borja M.A., Huacuz, J., et al., Estudio de prefactibilidad de una central eoloeléctrica de 150 MW para la zona de La Ventosa, México, Instituto de Investigaciones Eléctricas, informe IIE/01/14/10741/I002/F, México, junio de 1997.

<sup>103</sup> Ídem

Donde:

- I:** Monto de inversión  
**OM<sub>t</sub>:** Son los costos de operación y mantenimiento durante el año t  
**RC<sub>t</sub>:** Costos de mantenimiento mayor durante el año t  
**r:** Tasa de descuento  
**SV:** Valor de rescate después de n años  
**n:** Número de años de vida útil  
**PAE<sub>t</sub>:** Electricidad entregable en el punto de interconexión durante el año t

La estimación correcta de la cantidad de generación de electricidad durante la vida útil del proyecto es muy importante. Por ejemplo, el costo de inversión de una propuesta [A] para la construcción de una central eoloeléctrica puede ser menor que el de una propuesta [B]; sin embargo, si los aerogeneradores ofrecidos en la propuesta [A] producirán menos electricidad que los aerogeneradores de la propuesta [B], podría ser posible que la inversión más alta sea mejor opción, ya que la cantidad de electricidad que puede producir un aerogenerador en un sitio dado, depende de varios factores, entre ellos: su curva de potencia, su disponibilidad, y su altura de instalación sobre el terreno.

Otros factores que influyen económicamente son los costos de operación y mantenimiento del parque eoloeléctrico, lo cual depende de la calidad de aerogeneradores que sean utilizados, por ende dichos costos pueden variar en mayor o menor medida. Un punto a favor de la energía eólica es que sus *costos externos*<sup>104</sup> son de los más baratos, por lo que convierten a éste tipo de tecnología en una de las de menor costo de inversión.

## 2.5 IMPLICACIONES AMBIENTALES

El ahorro de combustibles fósiles y de disminución de emisiones a la atmósfera depende de la mezcla de tecnologías de generación en el sistema eléctrico que se trate. La Comisión Europea estima que la operación de 10, 000 MW eoloeléctricos en la Unión Europea evitaría la emisión de 20 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año y que representaría un ahorro total de 3, 500 millones de dólares por el concepto de combustibles fósiles no quemados.<sup>105</sup>

### 2.5.1 Uso de suelo

En la Tabla 8 se muestran valores del área requerida para construir centrales eoloeléctricas en terrenos planos. Se supone el uso de máquinas de una capacidad de 600 kW con un diámetro de rotor de 43 metros, así como una distribución con aerogeneradores separados de 3 a 5 diámetros en la dirección perpendicular al viento dominante y de 10 diámetros en la dirección paralela.

<sup>104</sup> Nota: Por costos externos se entiende aquellos en que el uso de alguna tecnología específica incurre de manera indirecta. Por ejemplo, el costo por concepto de salud de los trabajadores en minas de carbón para centrales carboeléctricas, el costo de derrames petroleros, etc.

<sup>105</sup> Energy for the future: renewable sources of energy, White paper for a community strategy and action plan, European Commission, 1997.

Tabla 8. Uso de suelo en centrales eoloeléctricas. <sup>106</sup>

Área libre requerida por cada aerogenerador de 600 kW.	55, 500 – 92, 500 [m <sup>2</sup> ]
Capacidad instalable por unidad de área.	6.5 – 10.8 [MW/km <sup>2</sup> ]
Área requerida por unidad de capacidad.	92.5 – 154.1 [m <sup>2</sup> /kW]

\*Sin instalación de otros aerogeneradores.

Por ejemplo, con estos criterios 5, 000 MW eoloeléctricos podrían construirse sobre un área máxima de 770 km<sup>2</sup>. Sin embargo, de esa superficie sólo se afectaría menos de 5% con caminos, cimientos, edificios y otras instalaciones. El resto seguiría siendo aprovechado para agricultura, ganadería o de acuerdo con su uso natural. En este ejemplo sólo se afectaría un máximo de 38.5 km<sup>2</sup>, es decir, menos de un cuadrado de 6.2 km. de lado. <sup>107</sup>

### 2.5.2 Ruido

La emisión de ruido por parte de los aerogeneradores puede ser un inconveniente cuando se encuentran zonas pobladas cerca de las instalaciones. Esto ha llegado a ser una limitación importante en países que tienen poca extensión territorial, así como en aquellos donde la implantación de la generación eoloeléctrica se ha llevado a cabo de manera importante cerca de zonas muy pobladas. En los países con gran extensión territorial que poseen recurso eólico en zonas alejadas de lugares habitados, prácticamente este problema no existe. Para que las centrales eoloeléctricas no ocasionen molestias de ruido a sus vecinos, algunos países han emitido normas ambientales que limita su cercanía a lugares habitados, por ello las centrales eoloeléctricas se deben instalar aproximadamente a 1 Km. de distancia del poblado mas cercano, para que sus habitantes no perciban un ruido mayor a 45 dBA.

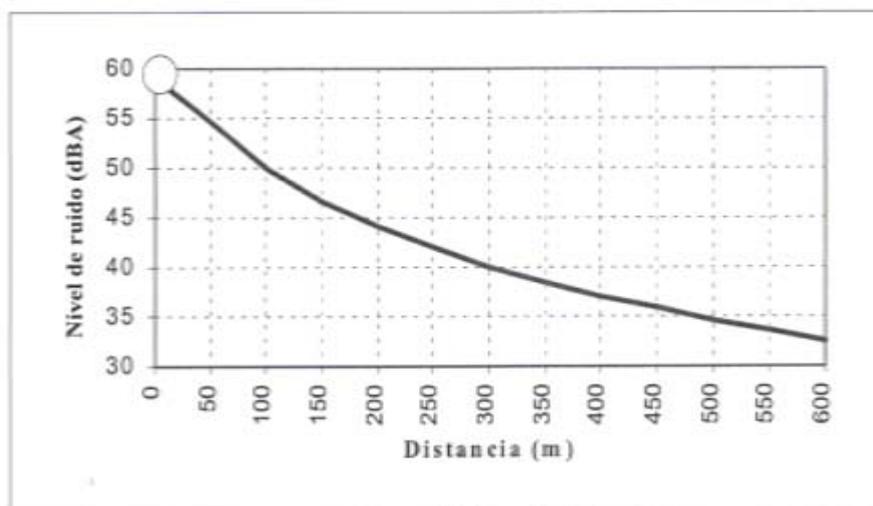


Figura 20. Ejemplo de la disminución del ruido con la distancia para un aerogenerador específico de 600 kW. <sup>108</sup>

<sup>106</sup> Estado del Arte y Tendencias de la Energía Eoloeléctrica. IIE, UNAM, 1998.

<sup>107</sup> Vestas, General Specifications 600 kW variable slip wind turbines, 2000.

<sup>108</sup> Vestas, General Specifications 600 kW variable slip wind turbines, 2000.



Figura 21. Comparación del ruido que se percibe de diferentes fuentes. <sup>109</sup>

### 2.5.3 Impacto visual

El impacto visual depende de la percepción de las personas. Para algunas los aerogeneradores son feos y deterioran el paisaje, mientras que para otras son agradables y representan una tecnología amigable al medio ambiente. Al igual que el problema de ruido, el impacto visual depende de la cercanía entre las poblaciones y las centrales eoloeléctricas, la percepción depende en gran medida de factores psicológicos y sociales; por ejemplo, si la generación eoloeléctrica ayuda a crear nuevas fuentes de empleo y contribuye al desarrollo regional, difícilmente los aerogeneradores pueden verse rechazados por motivos estéticos.



Figura 22. Parque eólico de Kappel (Dinamarca). <sup>110</sup>

<sup>109</sup> Estado del Arte y Tendencias de la Energía Eoloeléctrica. IIE, UNAM, 1998.

### 2.5.4 Impacto sobre las aves

A través de los años la industria eoloeléctrica ha hecho diversos estudios sobre la mortalidad de aves al chocar contra los rotores y las estructuras de los aerogeneradores y el efecto que causan los aerogeneradores sobre el hábitat y costumbres de las aves. En el Acuerdo para la Cooperación en la Investigación y Desarrollo de Sistemas de Generación Eoloeléctrica, en el seno de la Agencia Internacional de Energía, se ha reportado lo siguiente: "Todos los países miembros continúan expresando su inquietud acerca de la posibilidad de mortalidad de aves (por operación de centrales eoloeléctricas). La muerte de aves fue reportada como mínima y estudios llevados a cabo en varios países sugieren que los aerogeneradores no tienen impacto significativo en la vida de las aves, al compararse con otras actividades humanas. El problema varía sustancialmente de un sitio a otro y muchas centrales eoloeléctricas reportan no tener problemas al respecto."<sup>111</sup>

Las aves colisionan a menudo con líneas aéreas de alta tensión, mástiles, postes y ventanas de edificios. También mueren atropelladas por los automóviles, sin embargo, rara vez se ven molestadas por los aerogeneradores.

### 2.6 IMPLICACIONES COMERCIALES

Los modelos principales de aerogeneradores que se ofrecen en el mercado se pueden agrupar de acuerdo con los diferentes criterios de diseño.<sup>112</sup>

**Tabla 9. Agrupación de aerogeneradores por sus criterios de diseño.**<sup>113</sup>

<b>A</b>	3A-DKS	Tres aspas, regulación por desprendimiento de flujo, concepto danés.
<b>B</b>	3A-DKP	Tres aspas, regulación por control de ángulo de paso, concepto danés.
<b>C</b>	3A-VV-SCT	Tres aspas, velocidad variable, sin caja de engranes, concepto alemán.
<b>D</b>	3A-VV-US	Tres aspas, velocidad variable, concepto norteamericano.
<b>E</b>	2A-VV/VC	Dos aspas, velocidad variable o velocidad constante.
<b>F</b>	Otros	

De acuerdo a su capacidad, en la tabla 10 se clasifican los aerogeneradores disponibles. Esta clasificación, que de alguna manera representa generaciones distintas, se utiliza para proporcionar los indicadores de mercado siguientes.

<sup>110</sup> [www.windpower.org](http://www.windpower.org) , Danish Wind Industry Association, revisada en Diciembre de 2006.

<sup>111</sup> *Review on progress in the implementation of wind energy by member countries of the IEA during 1996*, Implementing Agreement for Cooperation in the Research and Development of Wind Turbine Systems, International Energy Agency, 1997.

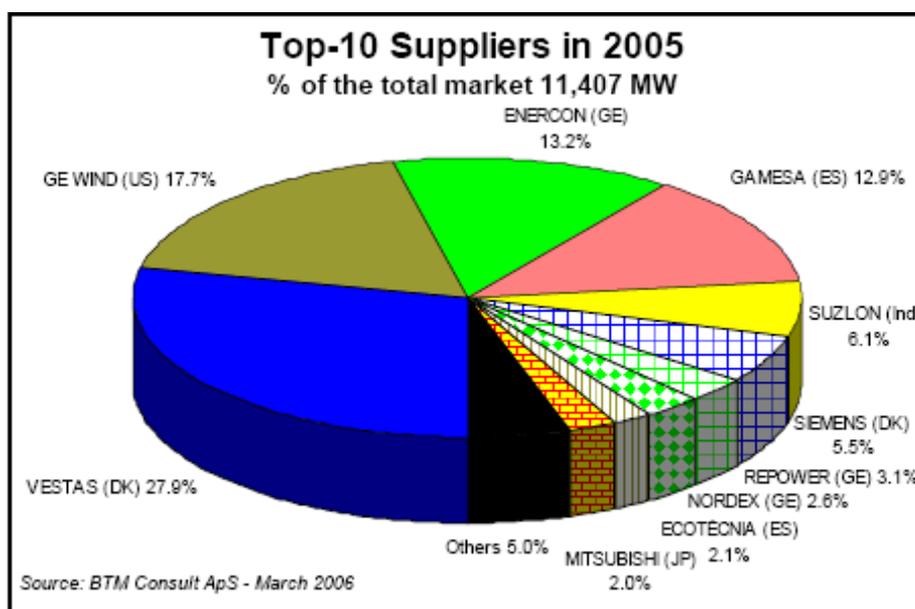
<sup>112</sup> *World market update 1997*, International Wind Energy Development, BTM Consult Aps., 1998.

<sup>113</sup> Borja M.A., Huacuz, J., et al., Estudio de prefactibilidad de una central eoloeléctrica de 150 MW para la zona de La Ventosa, México, Instituto de Investigaciones Eléctricas, informe IIE/01/14/10741/I002/F, México, junio de 1997.

**Tabla 10. Clasificación de aerogeneradores por su capacidad.**<sup>114</sup>

Clase	Rango de potencia nominal (kW)
200	200 – 225
250	250
275	270 – 275
300	300 – 350
400	400 – 450
500	500 – 550
600	600 – 660
750	750
800	800
1,000	1,000 - 1,300
1,500	1,500
2,000	1,650 - 2,000
3,000	3,000

Actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 60,000 MW eólicos a nivel mundial, el año 2005 fue el de mayor crecimiento en la historia de la industria eoloeléctrica con 11,407 MW eólicos instalados; con esto, se tuvo un incremento de 26.3%, y del 40% en comparación con el año 2004; actualmente se cuentan con más de 110, 000 aerogeneradores alrededor del mundo, los 10 principales proveedores de ésta tecnología se muestran en la Figura 23.<sup>115</sup>

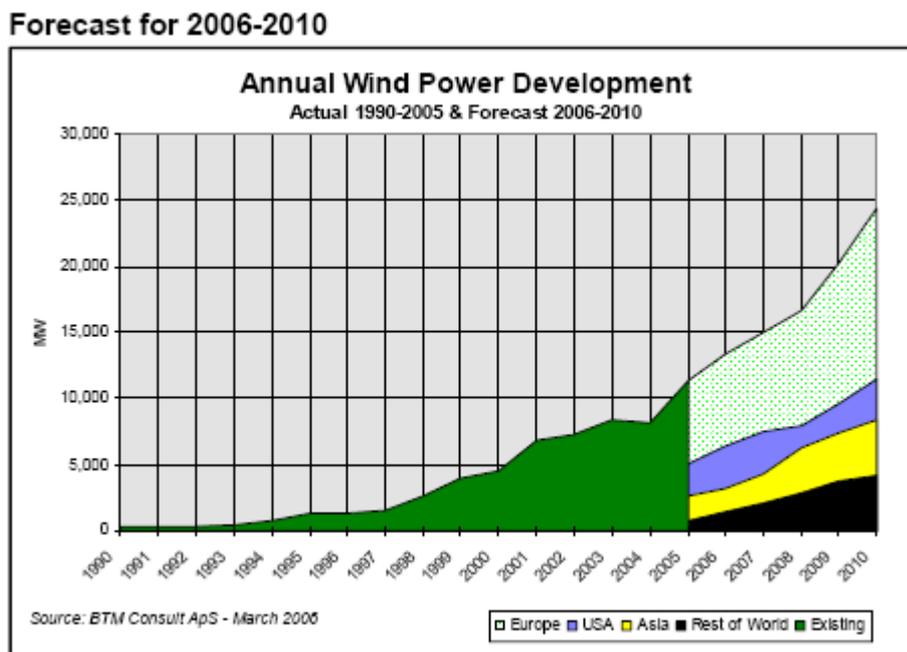
**Figura 23. Los 10 grandes proveedores en 2005. (Porcentaje del mercado total de 11,407 MW)**<sup>116</sup>

<sup>114</sup> *Energía Eólica, centrales eoloeléctricas*, IIE, Febrero de 1999, Marco A. R. Borja Díaz, Raúl Glz. Garza, Fortino Mejía Neri, Jorge M. Huacuz Villamar, Ma. Consolación Medrano Vaca.

<sup>115</sup> *BTM Consult ApS – March 2006.*

<sup>116</sup> *Energy for the future: renewable sources of energy, White paper for a community strategy and action plan*, European Commission, 1997.

El futuro de la industria eoloeléctrica es prometedor ya que la demanda de esta tecnología ha venido creciendo considerablemente sobre todo en USA, India, China y España. En los próximos cinco años el valor del mercado eólico será de unos US\$132.4 billones. En la figura siguiente se da un pronóstico para los años 2006 a 2010 sobre el crecimiento de la industria eólica a nivel mundial.<sup>117</sup>



**Figura 24. Pronóstico para los años 2006 a 2010 sobre el crecimiento de la industria eólica a nivel mundial.**<sup>118</sup>

<sup>117</sup> Idem

<sup>118</sup> Ibídem 40

## 2.7 IMPLICACIONES ORGANIZACIONALES

A continuación se muestran los principales tipos de instituciones y empresas que están involucradas en el desarrollo e implantación de la generación eoloeléctrica.

### Marco Internacional

- \*Protección ambiental
- \*Comercio
- \*Política energética
- \*Normalización
- \*Financiamiento
- \*Colaboración tecnológica

### Marco Nacional

#### Base institucional

- \*Política energética
- \*Planeación energética
- \*Protección ambiental
- \*Desarrollo económico
- \*Legislación
- \*Regulación

#### Base de apoyo Tecnológico

- \*Centros de investigación y desarrollo tecnológico
- \*Centros de pruebas especializadas y certificación
- \*Normalización

#### Base empresarial

- \*Inversionistas privados
- Desarrolladores de proyectos eoloeléctricos
- \*Consortios de autoabastecimiento de electricidad

#### Base financiera

- \*Instituciones de crédito
- \*Banca de desarrollo

#### Base industrial

##### Manufactura

- \*Fabricantes de aerogeneradores
- \*Fabricantes de componentes
  - Aspas
  - Generadores
  - Cajas de engranes
  - Equipo eléctrico
  - Equipo electrónico
  - Servomecanismos
  - Torres

##### Construcción

- \*Firmas de ingeniería civil
- \*Firmas de ingeniería eléctrica
- \*Compañías de transporte
- \*Compañías de grúas y maniobras

##### Operación

- \*Compañías operadoras de centrales eoloeléctricas
- \*Firmas de ingeniería especialistas en mantenimiento
- \*Compañías comercializadoras de electricidad

#### Base de apoyo

- \*Contable y fiscal
- \*Legal
- \*Ambiental

## CONCLUSIONES

Hoy en día, la opción más viable para aumentar la producción eléctrica mediante fuentes energéticas no contaminantes es la energía eólica, gracias a la disminución de costos de los aerogeneradores; según la Administración de Energía de EU, la electricidad obtenida del viento sigue siendo más cara que el uso de gas natural o de carbón, pero es más barata que la nuclear y la solar. En el mundo están instalados 75 mil MW (2007), lo que constituye el 1 por ciento de la energía mundial. La Asociación Mundial de Energía Eólica estima que para 2010, habrán instalados 160 mil MW, más del doble que lo actual.<sup>119</sup>

Por ello es importante buscar desarrollar una industria eólica propia para que la investigación mexicana desarrolle los rotores, los mecanismos de control y el generador eléctrico del aparato, además de los sistemas de conexión; ya que la mayor parte de la tecnología que se utiliza para producir energía eólica en México es importada, lo cual tendría que revertirse para aprovechar al máximo este recurso renovable y reducir costos. Se calcula que México lleva un atraso de una década en investigación técnica de la energía del viento, además de que existen pocos recursos humanos especializados en los diferentes tópicos de la generación eoloeléctrica, incluyendo los aspectos técnicos, económicos, ambientales, comerciales y sociales.

Algunos datos importantes son que para 2016, la Comisión Federal de Electricidad planea obtener 0.6 por ciento de la electricidad total del viento, mientras que en 2005, este porcentaje fue de 0.002 y que el Centro Regional de Tecnología Eoloeléctrica (CERTE), que operará el IIE abrirá sus puertas el primer trimestre de 2008, buscando formar investigadores especializados, entre otras cosas, para facilitar proyectos de desarrollo de tecnología nacional, que puedan fabricar nuevos generadores. Será ubicado cerca del parque eólico La Venta, el centro contará con tres aerogeneradores que serán utilizados para realizar pruebas en torno a la adecuación de las turbinas y a las condiciones locales de viento.<sup>120</sup>

---

<sup>119</sup> Periódico Reforma. Sección: Ciencia. Fecha: 28 de Junio de 2007.

<sup>120</sup> Idem

## CAPÍTULO 3. CONCEPTOS SOBRE ESTRATEGIA Y TECNOLOGÍA

*El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable.  
Para los temerosos lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad*  
Víctor Hugo

### INTRODUCCIÓN

Actualmente los procesos tecnológicos, así como el uso de estrategias seguidas por organizaciones alrededor del mundo para solucionar problemas de distintos ámbitos, son cada vez más elaborados. La estrategia se define como el arte de dirigir; su origen es completamente militar. Para conformar una estrategia es necesario tener objetivos claros y a largo plazo, así como relacionar todos los aspectos internos y externos de la organización, para poder identificar las líneas generales de acción, implantando aquellas que se consideren indispensables para su buen funcionamiento.

Uno de los factores más importantes a los que nos hemos enfrentado es a lo poco eficiente que hemos sido en materia de asimilación de tecnología. Sólo haciendo un esfuerzo deliberado para desarrollar esta capacidad, estaremos en posibilidad de competir dentro y fuera del país con nuestros productos, sin que este esfuerzo redunde en una mayor dependencia del exterior. Es necesario impulsar un desarrollo que ofrezca mejores condiciones de vida a un mayor número de mexicanos, más adecuado a nuestras necesidades, respetuoso de nuestra ecología y de nuestra cultura y con una prospectiva inteligente que enfatice los objetivos de desarrollo económico, autónomo, equilibrado y permanente.

Sin embargo, tenemos desventajas respecto a países desarrollados porque no se han diseñado políticas, planes y programas que nos permitan, en un plazo razonable ser autosuficientes en materia tecnológica. Parte de esa dificultad se encuentra en nuestra capacidad para asimilar la tecnología en la cantidad y oportunidad con que se requiere.

### 3.1 CONCEPTOS SOBRE ESTRATEGIA

#### 3.1.1 Planeación estratégica

La planeación es un proceso útil para establecer un sistema de objetivos coherentes fijando sus prioridades y determinar los medios apropiados para la realización de dichos objetivos. El uso de un enfoque metodológico fue el que dio lugar a la aparición del término estrategia en el dominio de la planeación. Su origen militar se adaptó al sistema de la planeación a las organizaciones para que, mediante líneas genéricas de acción llamadas estrategias o alternativas estratégicas, se cubra el diferencial entre el ser y el deber ser en las empresas. Para conformar una estrategia primero debemos definir la razón de existir así como las relaciones entre lo interno y lo externo de la organización, estableciendo objetivos a largo plazo e identificando las líneas generales de acción, implantando aquellas que se consideren indispensables para el buen funcionamiento de la organización.<sup>121</sup>

**Proyecto:** Es la unidad mínima del plan, compuesto por un conjunto de actividades coherentes con los objetivos y metas.

**Programa:** Es el escalón inmediato superior a los proyectos en la planeación del desarrollo y se encarga de unirlos y de darles coherencia en relación a uno o varios objetivos de desarrollo económico social.

**Plan:** Representa la culminación de los esfuerzos para integrar y darle coherencia a cada programa en relación con los objetivos y metas, del plan se derivan los programas y los proyectos necesarios para conseguir los objetivos propuestos para obtener un proceso económico y social.

Tabla 11. Niveles de decisión y agregación en la organización.<sup>122</sup>

Niveles de decisión y agregación		
Dirección	Estratégico	Planes
Mandos Medios	Táctico	Programas
Operativos	Operativo	Proyectos

En la última etapa de la administración estratégica se llevará a cabo la evaluación de la estrategia y cuenta con tres etapas fundamentales: revisión, medición y aplicación de acciones correctivas. El proceso de la planeación en las organizaciones se orienta por las actitudes que los administradores tengan hacia la formulación de la planeación, su principal característica es la de su preferencia por diferentes estadios del tiempo: pasado, presente o futuro.

<sup>121</sup> Planeación Estratégica con enfoque sistemático, Luis A. Valdés Hernández, Fondo Editorial FCA, UNAM, 2005.

<sup>122</sup> Idem

**Tabla 12. Tipificación del estilo en la planeación en las organizaciones.**<sup>123</sup>

Tipificación del estilo en la planeación	
Orientación al:	Tipo de planeación:
Pasado	Reactivista
Presente	Inactivista
Futuro	Preactivista
Integración	Interactivista

Características de los diferentes estilos de acuerdo a la tipificación anterior:<sup>124</sup>

*En el reactivismo:*

- Todo tiempo pasado es mejor.
- Entran al futuro de cara al pasado.
- Visión clara de donde vienen y no adonde van.
- Tratan con personas y valores.
- Se basa en juicios morales.
- Pensamiento cualitativo.
- Tienden a confiar en la organización antigua.
- Jerarquía autoritaria y paternalista.
- El estilo de liderazgo es autocrático.
- Existe un respeto extremo por la historia.
- Se busca la continuidad y se evitan los cambios bruscos.
- Se conservan las tradiciones.
- La planeación trata los problemas por separado y es prerrogativa de la dirección.

*En el inactivismo:*

- Se está satisfecho con las cosas tal y como están.
- Sus objetivos son la sobrevivencia y la estabilidad.
- Para la dirección las condiciones actuales son buenas.
- Los cambios son temporales.
- Existe la política de la no acción.
- Se considera que la intervención genera desorden.
- Hay una obsesión por la compilación de datos.
- Se atacan los efectos y no se buscan sus causas.
- El manejo de la organización es inercial.
- La conformidad es mejor que la creatividad.
- En lo general, las organizaciones del sector público son representativas de este tipo de planeación.

<sup>123</sup> Ackoff, Rusell L., Rediseñando el futuro, México, Limusa, 1991.

<sup>124</sup> *Ibidem* 118

*En el preactivismo:*

- El futuro es mejor que le presente o el pasado.
- Se busca acelerar el cambio.
- El uso de los adelantos tecnológicos es indiscriminado.
- Todas las nuevas tecnologías son panaceas.
- Son perfeccionistas.
- Son administraciones con administración por objetivos (APO).
- Su principal objetivo es el crecimiento.
- Prefieren la predicción a la preparación.
- Su paradigma es la planeación contingente.

*En el interactivismo:*

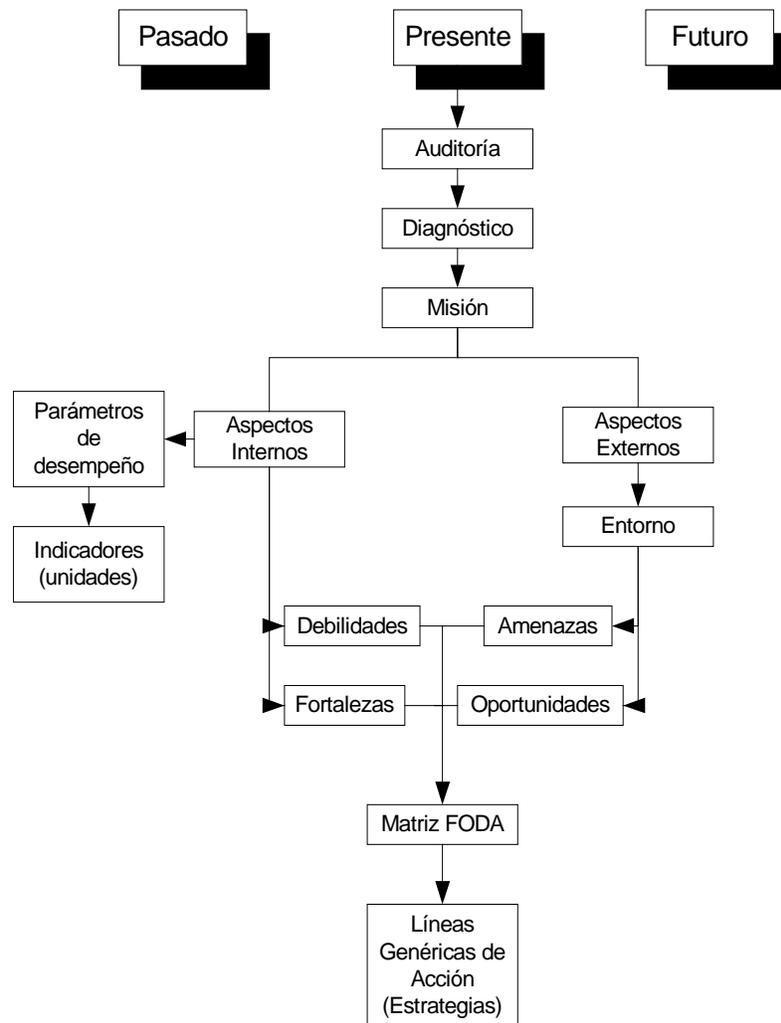
- La planeación es el diseño de un futuro deseable y de la invención de los métodos para llegar a él.

Esta tipificación de los estilos de planeación provoca la consideración de un horizonte temporal integral viendo hacia el futuro sin olvidar el pasado, debido a que hoy somos lo que decidimos ser el día de ayer y hoy iniciamos la construcción del futuro. Con la integración de los tres estadios posibles, pasado, presente y futuro, se obtendrán las mejores líneas genéricas de acción llamadas estrategias.

Para iniciar el proceso de planeación, partimos de un diagnóstico de la organización en el momento actual, el cual se integrará mediante una auditoría a la organización para indicarnos la situación actual de la organización en el presente (planeación inactivista) señalando cuáles son sus fortalezas y debilidades y por otro lado el diagnóstico nos permite identificar cuáles son los parámetros de desempeño de la organización y cuáles sus unidades de medida o indicadores.

La organización se encuentra rodeada por el entorno que es todo lo que está fuera de control de la organización; del entorno nos interesa identificar aquellos elementos o variables que afectan o pueden afectar a la organización, ya sea de una manera negativa (amenazas) o positiva (oportunidades).

Para llevar a cabo el diagnóstico se siguen modelos que estudian a la organización desde diferentes puntos de vista, por ejemplo el de las áreas funcionales (mercadotecnia, producción, finanzas, recursos humanos), el de cuatro ejes o procesos (sociales, estratégicos, administrativos, tecnológicos), el del desarrollo organizacional (conocer el estado de las cosas y los efectos o las consecuencias de las acciones), entre otros. El más importante es el modelo organizacional de los tres vectores, el cual se describe a continuación.



**Figura 25. Modelo organizacional de los tres vectores.**<sup>125</sup>

Este modelo permite identificar y establecer el sistema generado por la organización y su entorno fue desarrollado para la administración del insumo tecnológico con un enfoque sistemático; se aplica en el diagnóstico, pronóstico, y prospectiva tecnológica como antecedente a los planes, programas y proyectos para la permanencia o el crecimiento de la organización. El sistema organizacional surge de la interacción existente, en tres dimensiones, de los elementos llamados vectores, del entendimiento de estas relaciones surgen las mejores estratégicas. Los vectores del sistema organizacional se refieren a los aspectos de: la misión, estructura organizacional y diseño de transformación o tipos de tecnología.

<sup>125</sup> *Ibidem* 118

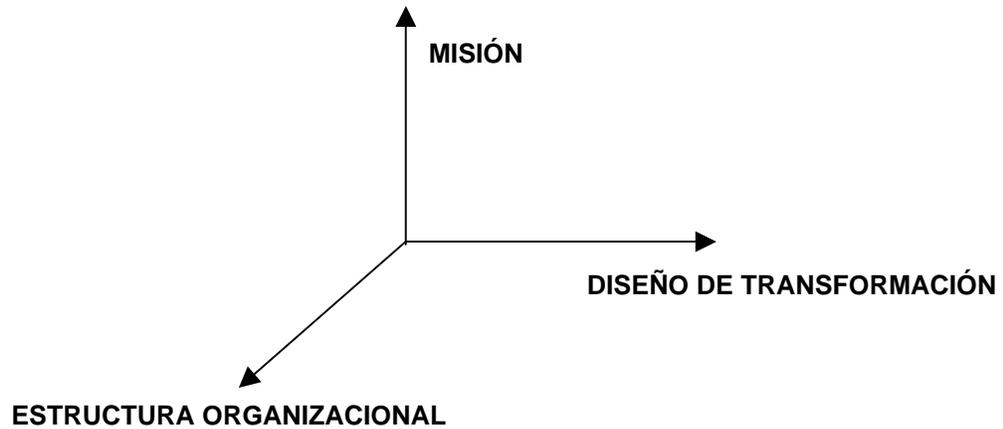


Figura 26. Vectores del sistema organizacional.<sup>126</sup>

El primer vector o vector principal es el correspondiente a la misión donde forzosamente debemos identificar el mercado que se pretende servir, localizando a nuestros clientes con sus necesidades y a la competencia de nuestros productos. Este vector es el que determina la parte estratégica de la organización.

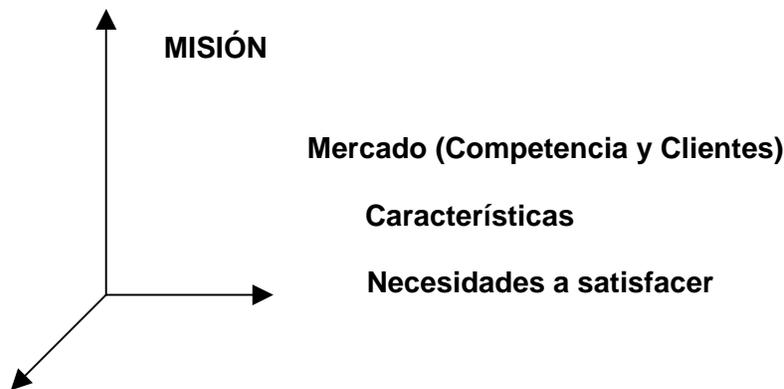
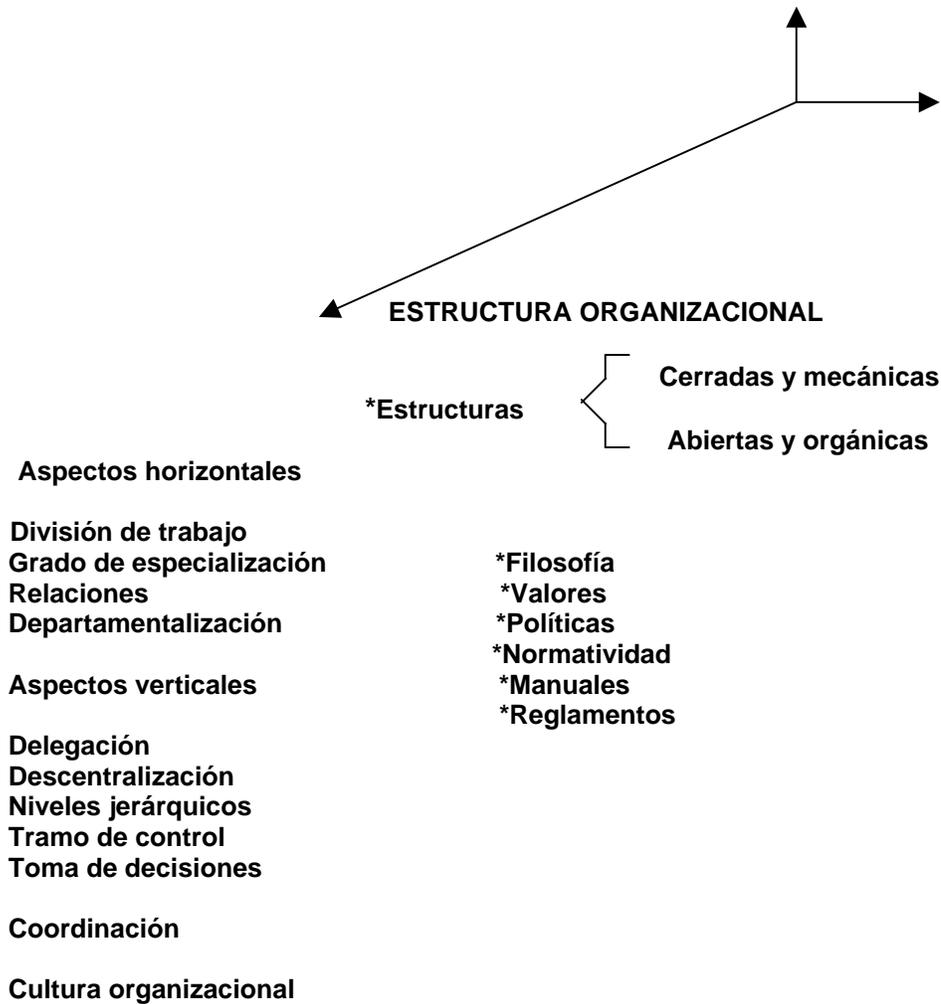


Figura 27. Desarrollo del vector principal, Misión.

La estructura del vector *estructura organizacional* depende de la estrategia, es decir, que no es inamovible, por ello, en un entorno agresivo las organizaciones establecen nuevas estrategias que a su vez demandan nuevas estructuras, por lo tanto, las estructuras deberán ser flexibles, capaces de responder a los cambios del entorno. Este vector es el sociotécnico, y nos habla de las relaciones sociales que se desarrollan y establecen en las organizaciones, relaciones que son las responsables directas de la cultura organizacional.

<sup>126</sup> *Ibíd*em 118



**Figura 28. Componentes del vector estructura organizacional.**<sup>127</sup>

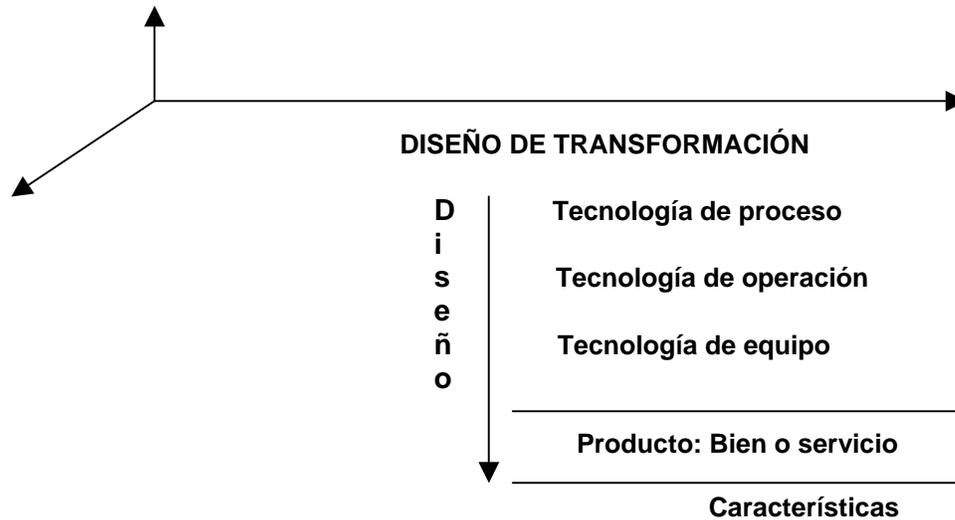
En la estructura organizacional se debe considerar:

- a) Aspectos horizontales tales como la división del trabajo, grado de especialización, relaciones lineales y la departamentalización de las tareas organizacionales, etc.
- b) Aspectos verticales entre los que se incluye la delegación, la descentralización, el número de niveles jerárquicos y el tramo de control, con algunos de sus efectos como son la satisfacción del trabajador y la toma de decisiones.
- c) Cultura organizacional donde se identifica el sistema de trabajo para la optimización de ideas, actitudes de servicio, visión compartida, principios y valores compartidos, compromiso, disciplina, liderazgo, entre otras.

El tercer vector es el diseño de transformación, ahí se localiza el proceso de transformación diseñado para producir productos con las características necesarias para

<sup>127</sup> *Ibidem* 118

satisfacer las necesidades implícitas y explícitas de los clientes; este vector está conformado por cuatro elementos, tres de ellos son causas y el cuarto se considera el efecto.



**Figura 29. Integración del vector diseño de transformación.**<sup>128</sup>

Causas del diseño de transformación:

1. Tecnología de proceso: Aquí se ubica el conocimiento básico, es decir, la teoría referente al proceso de transformación. Nuevas tecnologías de proceso (conocimientos) demandarán desarrollar nuevas tecnologías de operación.
2. Tecnología de operación: Es la experiencia desarrollada en un determinado diseño, que después de ser analizada y asimilada, pasa a formar parte de la tecnología de proceso cuando se intente aplicar a un diseño de transformación diferente.
3. Tecnología de equipo: Es la parte física del diseño de transformación se efectúa en diversos activos, sus características dependen del mercado, del proceso y de la experiencia.
4. Producto: Las características inherentes del producto son el resultado del diseño de transformación, y éstos deberán ser de acuerdo con las necesidades del mercado objetivo.

Es importante remarcar que cualquier sistema organizacional tiene como elementos integrales los vectores antes citados; sin embargo, dependiendo del sector al que pertenezca la organización, así como la etapa de su ciclo de vida en que se encuentre, algunos sistemas dependerán preponderantemente de algún vector o parte de éste, limitando la incidencia de los otros a un nivel menor.

Bajo este enfoque sistemático, la organización se interrelaciona con otro macrosistema llamado entorno (todo aquello que la rodea no controla). De acuerdo con el entorno en

<sup>128</sup> *Ibidem* 118

que se mueve la empresa, se hallan diferentes elementos que la pueden afectar y que consideramos parte del mismo a los que simplemente denominaremos entornos.

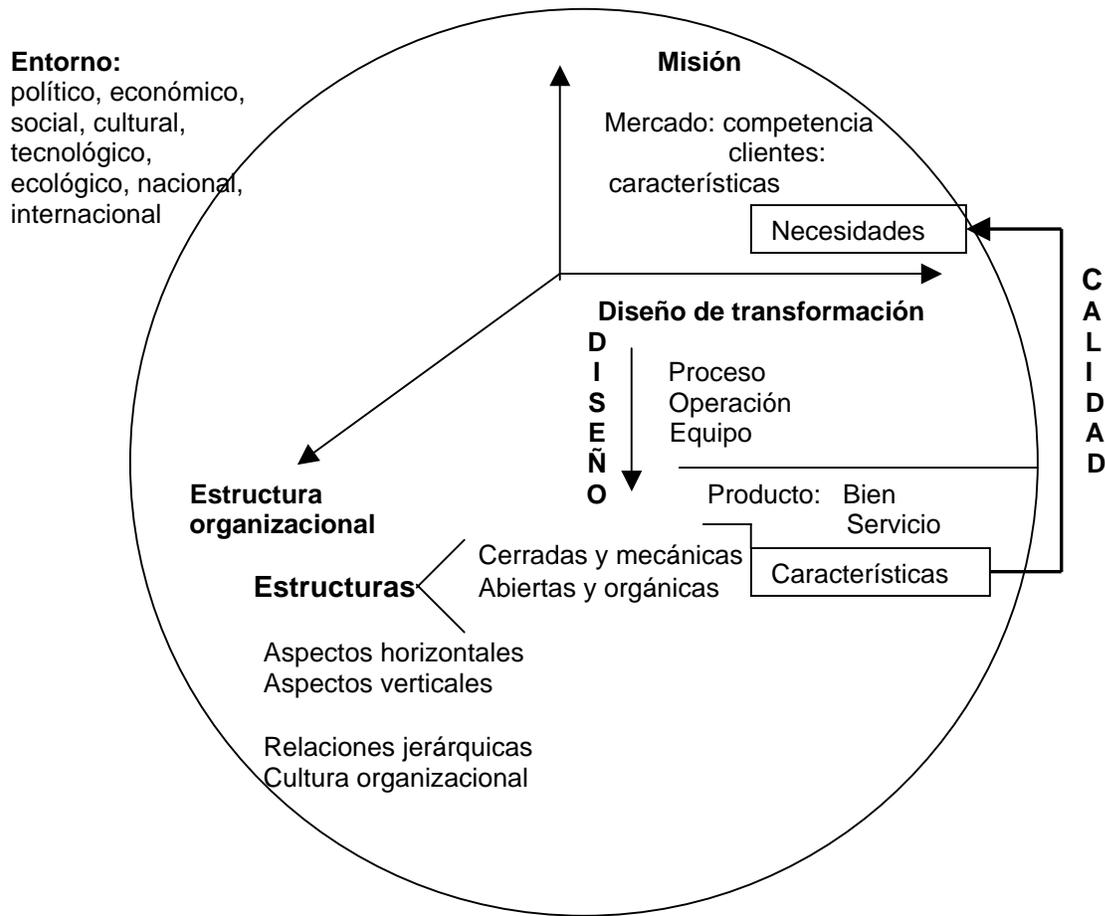


Figura 30. Sistema organizacional integrado y su entorno.<sup>129</sup>

### 3.1.2 Planeación estratégica, por el análisis de las condiciones actuales en la organización

Con el modelo descrito, se inicia el proceso de la planeación estratégica, por el análisis de las condiciones actuales de la organización, desarrollando el diagnóstico de la organización se integra en una matriz de fortalezas-oportunidades y debilidades-amenazas, en la que se considera la posible interacción entre las fortalezas y debilidades internas de la organización con las oportunidades y amenazas que el entorno le proporciona y de esta manera se anticipan los posibles efectos que dichas interacciones tendrían en la organización, permitiendo así plantear acciones genéricas (estrategias), ya sea para potenciar o disminuir los efectos identificados, esta matriz es conocida como la matriz FODA.

<sup>129</sup> Ibidem 118

### 3.1.3 Planeación por análisis de las condiciones del pasado

Para analizar las condiciones históricas, las técnicas utilizadas son los modelos analíticos que se basan en el establecimiento de series temporales de parámetros de desempeño conocidos y seleccionados. Aquí se suponen que los factores que han influido históricamente continuarán existiendo y no se alterarán en el futuro.

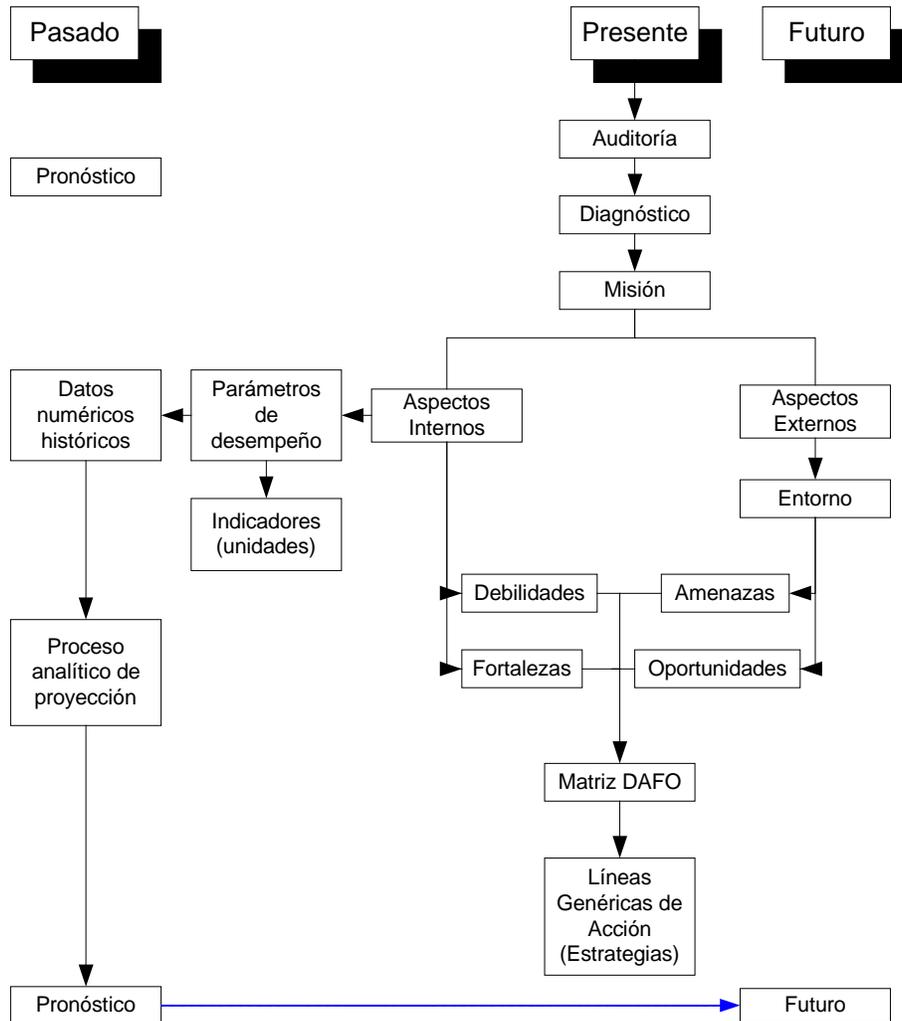


Figura 31. Esquema conceptual de la planeación a partir del pasado.<sup>130</sup>

Si los datos históricos son confiables es posible hacer una buena predicción y obtener así una estimación del futuro; para ello existen varias técnicas, las cuales han sido agrupadas en métodos cualitativos, análisis de series de tiempo, métodos de proyección y causales. Las técnicas más usadas son las cualitativas (aunque tienen poca confiabilidad y un alto costo) y las series de tiempo.

<sup>130</sup> *Ibidem* 118

### 3.1.4 Prospectiva

El concepto de la prospectiva consiste en atraer y concentrar la atención sobre el porvenir imaginándolo a partir del futuro y no del presente. La prospectiva no busca adivinar el futuro, sino que pretende construirlo.

En consecuencia, el comportamiento futuro de las variables a estudiar, desde un enfoque prospectivo, se desarrolla bajo los siguientes supuestos:

- a) Visión holística
- b) Perspectiva desde el futuro
- c) Conformación de futuros alternativos (entre los que se encuentra el inercial)
- d) Confrontación entre futuros, entre éstos y el presente y la selección del más deseable, posible y probable.
- e) Análisis de las estrategias y tácticas necesarias para lograr la situación futura deseada (SFD) por sobre todo los demás.

Entonces, la prospectiva permite conocer varios futuros, así como estudiarlos y seleccionar el más conveniente dentro de lo factible.

#### Elementos del futuro:

*Futuro deseable (SFD).* Es la expresión de un estado de cosas que se ambicionan porque reflejan nuestras aspiraciones y valores. Este futuro brinda una guía de elección desde la que son manejados, explícita o implícitamente los valores.

*Futuro probable.* Son los acontecimientos que pueden suceder; es decir aquello sobre los que existen razones aparentemente suficientes (fundamentadas en el pasado y en el presente) para creer que determinados eventos se presentarán en el futuro. Este tipo de futuro se elabora bajo metodologías de evaluación y sistematización.

*Futuro posible.* Aquí se involucra la acción y el esfuerzo en la formulación de este futuro, la evaluación de su viabilidad deberá confirmar que se cuenta con los recursos necesarios y suficientes para llevarlo a cabo en buen término.

En la *planeación estratégica*, la prospectiva (planeación interactivista) funciona de manera inversa de la metodología basada en el pasado y el presente, debido a que éste se inicia con la caracterización de los futuros posibles para después seleccionar el más deseable; en cambio, en *planeación prospectiva* primero se determina el futuro deseado, se le diseña creativa y dinámicamente, sin considerar el pasado y el presente como algo necesario, éstos se incorporan en un segundo paso, al compararse con el futuro deseado, para desde ahí, explorar los futuros factibles y seleccionar el más conveniente.

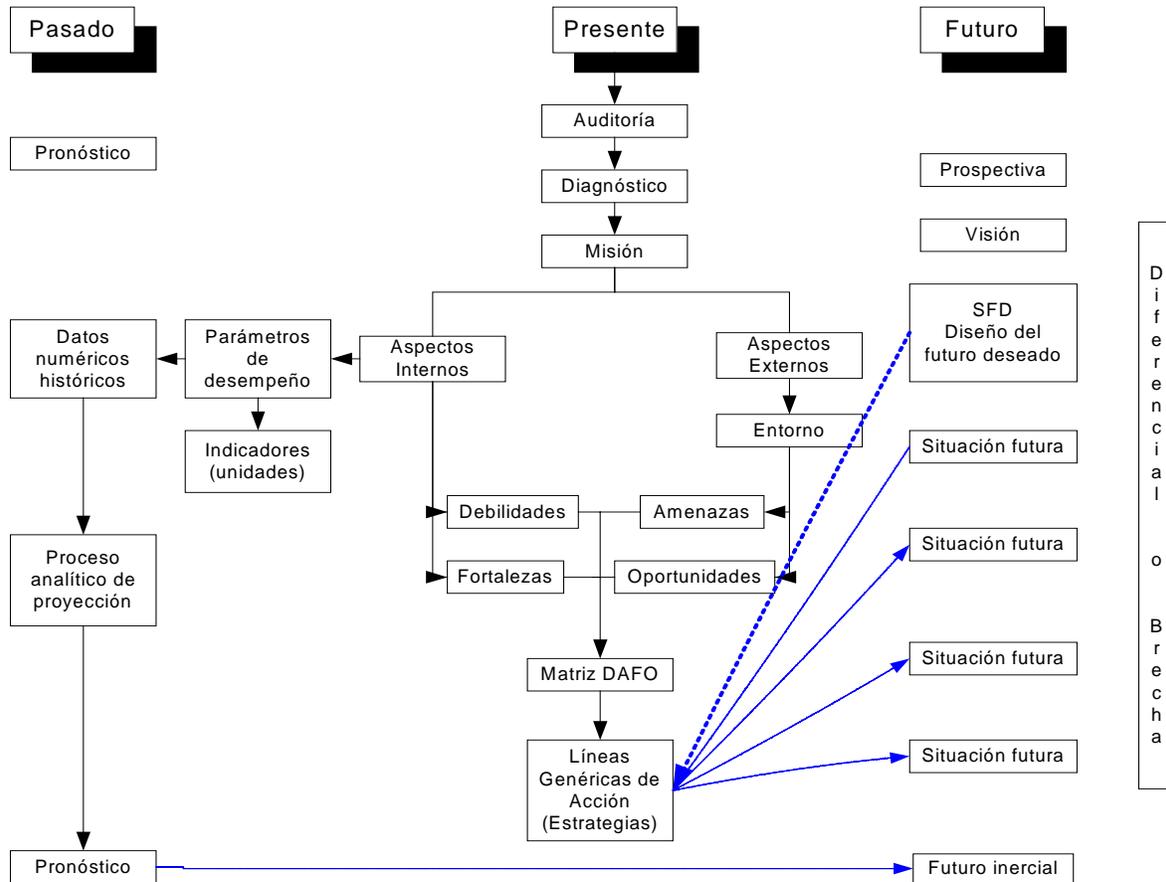


Figura 32. Esquema conceptual de la planeación a partir del futuro.<sup>131</sup>

### 3.1.5 Otros elementos para desarrollar e integrar en el proceso de la planeación estratégica

**La visión.** Es considerada un producto formal del estudio del futuro y es donde se describe cómo se desea que sea la organización en el futuro, no importa lo que la visión es sino lo que la visión logra. El horizonte temporal de ésta es de acuerdo con el entorno y a la organización misma, en un entorno turbulento el horizonte posiblemente será reducido a meses mientras que en un entorno no turbulento el tiempo posiblemente será de cuatro a cinco años.<sup>132</sup>

La misión, la visión y los valores compartidos de una organización son los elementos que establecen un lazo común de compromiso y pertenencia en todos los participantes de la organización.

**Los valores.** Son los que la organización considera que es el bien, pueden establecerse en términos de *se debe o no se debe* como principios morales y sirven de referencia para la toma de decisiones. Los valores propuestos por las organizaciones son generales y

<sup>131</sup> *Ibidem* 118

<sup>132</sup> French Wendell, *Desarrollo organizacional, aportaciones de las ciencias de la conducta para el mejoramiento de la organización*, Prentice Hall, México, 1996.

pueden ser: morales y funcionales. El moral traslada al plano de la empresa valores individuales, (honestidad, respeto, justicia, etc.) y el funcional, otorga un lugar primordial a una función o ámbito particular de la administración, por ejemplo, un incremento a salarios.

### 3.1.6 Estructuración y evaluación de las estrategias

Una vez que son identificadas las estrategias deben ser estructuradas y evaluadas. Las estrategias son como hipótesis de soluciones a problemas no estructurados que deben ser probadas.

Las estrategias diseñadas a partir de los diferentes estadios del tiempo constituyen las líneas genéricas de acción que conforman el sistema estratégico de la organización bajo estudio, por ello se deben evaluar identificando su estructura a partir de las relaciones que guardan entre sí.

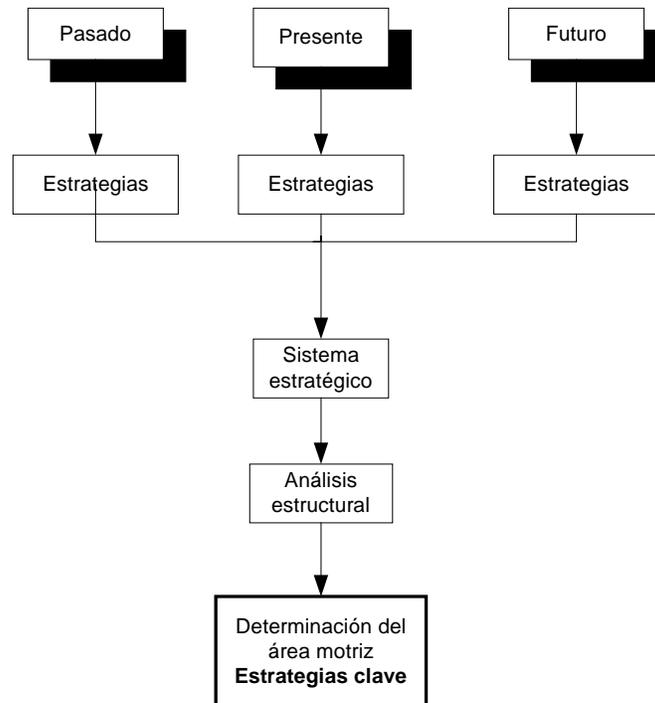


Figura 33. Esquema conceptual del análisis estructural para determinar las estrategias clave.<sup>133</sup>

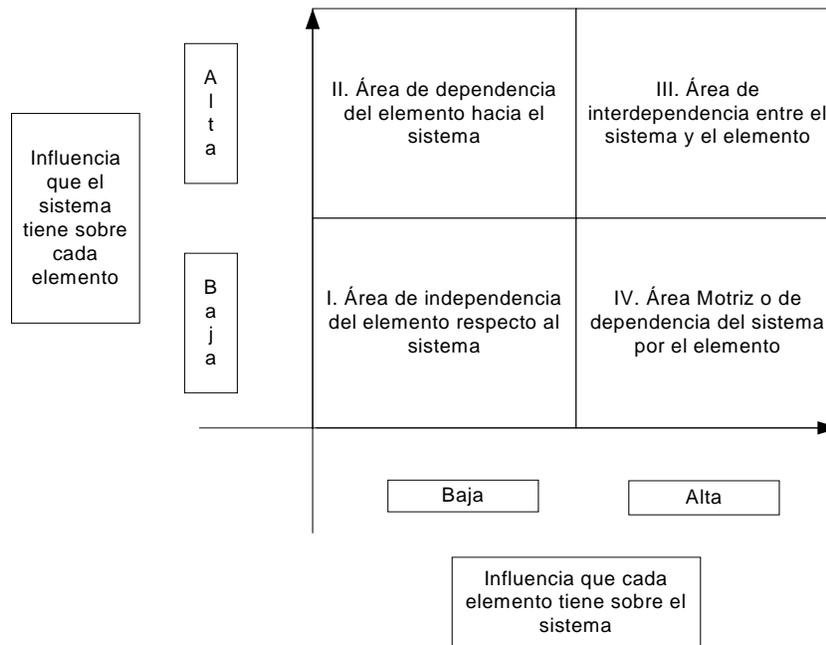
**Análisis estructural.** Es un sistema donde todos sus elementos (estrategias) están relacionados entre sí, funciona de la siguiente forma: primero, se identifican y definen los elementos (estrategias); luego, se cuantifican las relaciones sistema-elemento y elemento-sistema, las cuales son llevadas a cabo en un arreglo matricial, donde las relaciones existentes entre elemento y sistema se evalúan por niveles: nulo, intermedio y alto.

<sup>133</sup> *Ibidem* 118

Los valores otorgados a las relaciones se conforman en un arreglo matricial donde las sumatorias de cada una de las columnas y los renglones permiten establecer la relación estructural por elemento.

**Las relaciones que los elementos muestran con sus sistemas son cuatro:**

I. Área de baja influencia por parte del sistema hacia el elemento y también de baja influencia por parte del elemento hacia el sistema; aquí se localizan aquellos elementos cuya variación afecta de manera mínima o nula al sistema. Es decir, cualquier estrategia que se ubique en esta área tendrá poco efecto en el sistema, por lo que será necesario reconsiderar su implementación.



**Figura 34. Gráfica cartesiana de la estructura, indicando las áreas con el tipo de relación.**<sup>134</sup>

II. Área de alta influencia del sistema hacia el elemento y de baja influencia por parte del elemento hacia el sistema; en esta área se agrupan los elementos cuya variación tiene un bajo impacto en el sistema, pero que se ven muy afectados por los cambios del sistema también conocidos como los elementos vulnerables. Las estrategias aquí localizadas al implementarse tendrán un efecto mínimo en el sistema, mas como los cambios que se den en el sistema afectan de manera importante a estos elementos, es necesario darles seguimiento.

III. Área de alta influencia recíproca entre el sistema y sus elementos; ésta ha sido nombrada como área de reverberancia, puesto que cualquier cambio ocasionado por las estrategias, aquí ubicadas, tendrán un fuerte efecto en el sistema cuya respuesta, a su vez, provocará nuevos cambios en el elemento y así sucesivamente. Estas relaciones son fuente importante de conflicto y desorden en la estructura total.

<sup>134</sup> *Ibidem* 118

IV. área de baja influencia por parte del sistema hacia los elementos, pero de alta influencia del elemento hacia el sistema, es conocida como área motriz porque las estrategias localizadas en este segmento presentan un fuerte impacto en la estructura (organización) y los cambios provocados en la misma no afectan a los elementos. Las estrategias localizadas en esta área son las que, de manera preferencial, se implementan. Finalmente, las estrategias motrices son las que de manera preferencial se llevan a cabo en las organizaciones. Cada estrategia contempla una serie de programas tácticos que a su vez se desagregan en conjunto de proyectos.

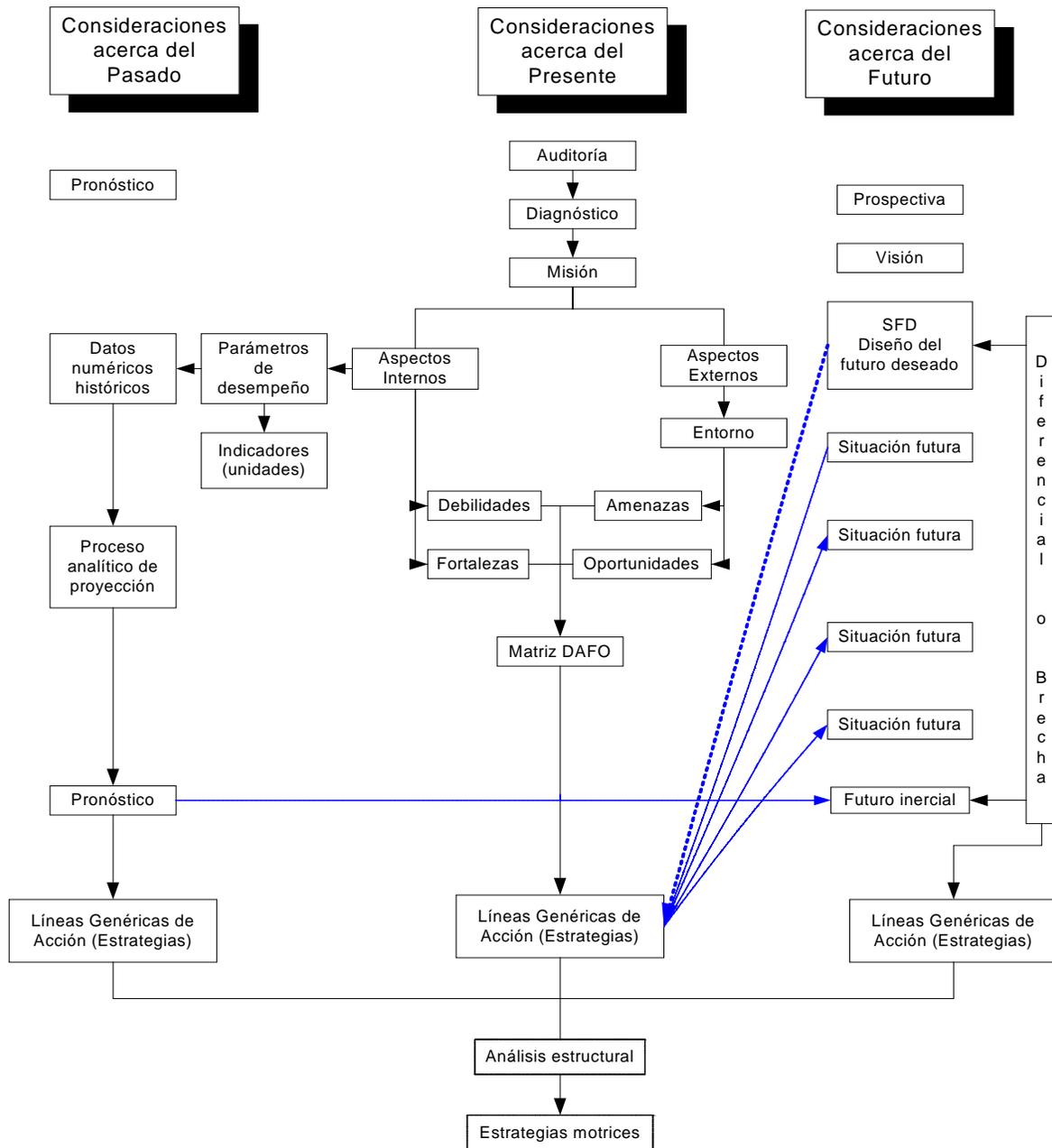


Figura 35. Planeación estratégica integral (considerando los tres estadios en el tiempo).<sup>135</sup>

<sup>135</sup> Ibídem 118

### 3.2 CONCEPTOS SOBRE TECNOLOGÍA

La tecnología se define como un método (o procedimiento) para hacer algo. En esta definición se le deben considerar los medios (instrumentos, herramientas y máquinas) vinculados al procedimiento y a la clase de materiales que se transforman. También debe contener a los conocimientos científicos formales, así como los que forman parte de la cultura de la sociedad en general; todo lo anterior con un objetivo específico que generalmente es el de producir o comercializar un bien o servicio. La tecnología se ha convertido en un factor dominante tanto en las organizaciones como en la vida personal.

La relación existente entre Economía, Tecnología y Ciencia no es lineal; las necesidades económicas exigen de la Ciencia una respuesta a los problemas por ella planteada y que la Ciencia y la Tecnología se limitan a responder a tales requerimientos.

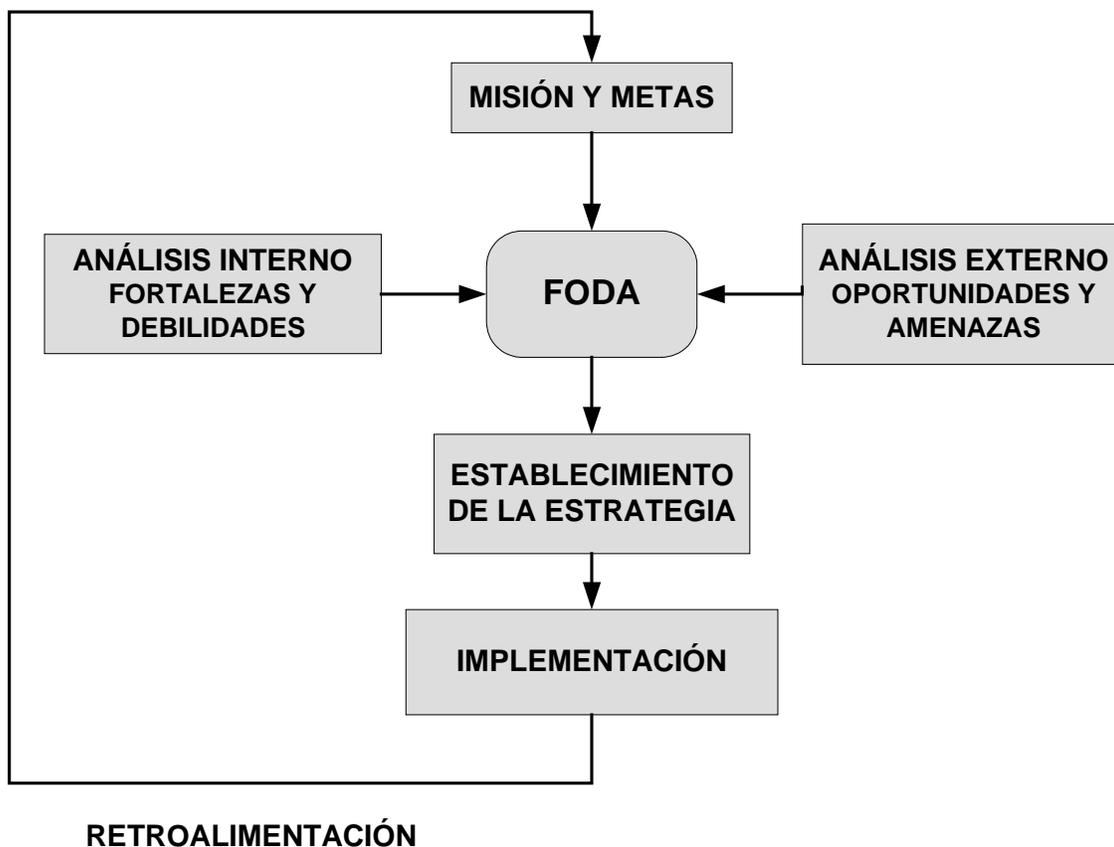


Figura 36. Estrategia tecnológica integral.<sup>136</sup>

La Ciencia y Tecnología retardan o adelantan el desarrollo de las fuerzas productivas. Los tomadores de decisiones deberán administrar en forma enérgica e inteligente al insumo tecnológico, considerando que no se pueden adoptar todos los nuevos avances

<sup>136</sup> Manual de dirección estratégica de la tecnología, La producción como ventaja competitiva. E.Fernández Sánchez, Z. Fernández Casariego. Ed. Ariel Economía, 1988.

tecnológicos sin antes considerar los posibles efectos colaterales que producen los entornos: político, económico, social, cultural y ecológico, así como en los diferentes niveles geográficos.



Figura 37. Entornos de la Administración Tecnológica.<sup>137</sup>

Para definir a la *Administración de la Tecnología* es necesario considerar con detenimiento el impacto que tienen los paquetes tecnológicos en los aspectos humanos y sociales. Existe una amplia dimensión de contenido humano en la tecnología y que, con frecuencia, se ignora.

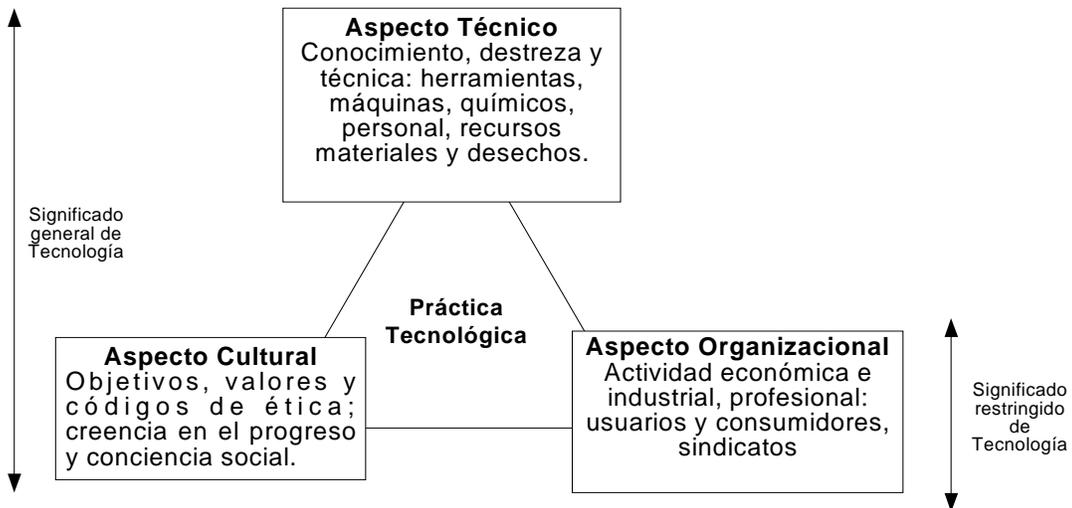


Figura 38. Conformación de la práctica tecnológica.<sup>138</sup>

<sup>137</sup> Ídem

La dimensión en que analizan las características tecnológicas de cada actividad industrial son al menos tres, y de su enfoque interrelacionado surge la mejor alternativa para adquirir, desarrollar o copiar la tecnología. A estas dimensiones se les conoce como vectores del paquete tecnológico y se refieren a los aspectos de la misión, estructura organizacional y tipo de tecnología.

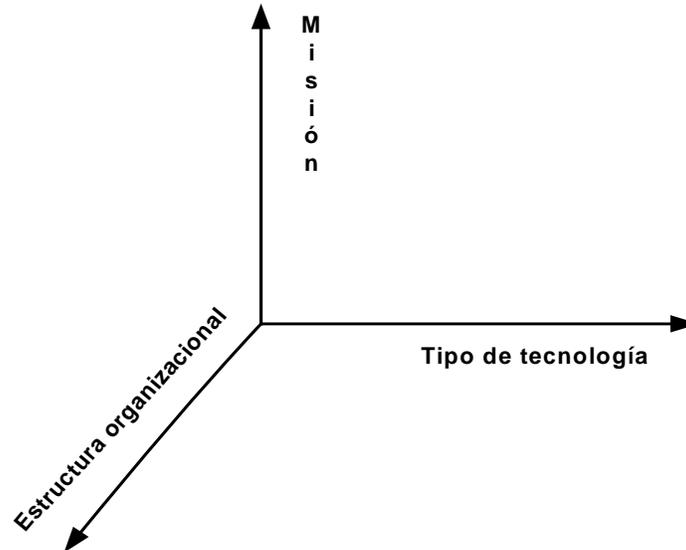


Figura 39. Vectores del paquete tecnológico.<sup>139</sup>

El vector principal corresponde a la misión, ya que en esta se indica quién es el cliente, que necesidad (es) se le satisface y a través de que producto (bien o servicio) se logra esa satisfacción. Este vector determina la estrategia de la organización.

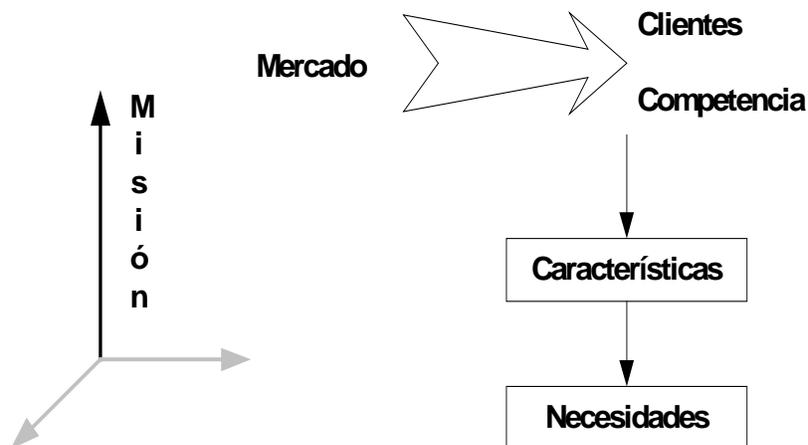


Figura 40. Vector principal: Misión.<sup>140</sup>

<sup>138</sup> Ibídem 133

<sup>139</sup> Estrategia Tecnológica Integral. José Giral B. , Sergio González, 1986.

<sup>140</sup> Ídem

El segundo vector o estructura organizacional, sigue a la estrategia y depende de ella; este es el vector sociotécnico, en el cual los resultados finales individuales y grupales se relacionan con el clima organizacional.

El tercer vector o vector tecnológico es donde se localiza el diseño de la transformación y sus productos (bienes o servicios); al vector lo componen cuatro elementos, tres de ellos son causas (proceso, operación equipo) y el cuarto lo consideramos el efecto (diseño).<sup>141</sup>

**Tecnología de Proceso:** Es el conocimiento básico, es decir, la teoría referente al proceso de transformación. Nuevas tecnologías de proceso (conocimientos) demandarán desarrollar nuevas tecnologías de operación.

**Tecnología de Operación (TO):** Se refiere a la experiencia acerca del diseño de transformación. La teoría sin la práctica siempre quedará como teoría y la práctica sin teoría será empirismo. La experiencia (TO) desarrollada en un determinado diseño, cuando es analizada y asimilada, al ser puesta en práctica en un diseño diferente pasa a formar parte de la tecnología de proceso.

**Tecnología de Equipo:** Se refiere a la parte física del diseño de transformación. Sus características dependen del mercado, del proceso y de la experiencia. Con estos tres tipos de tecnología se integra el diseño de transformación, el cuarto tipo de tecnología es el efecto de éstos:

**Producto:** Las características inherentes al producto son el resultado del diseño de transformación, y estos deberán ser de acuerdo a las necesidades del mercado objetivo.

En consecuencia, es muy importante remarcar que cualquier paquete tecnológico tiene como elementos integrales los vectores antes citados. Sin embargo, dependiendo del sector al que pertenezca la organización, así como la etapa en que se encuentre de su ciclo de vida, existen paquetes que dependen preponderantemente de alguno o algunos de ellos, limitándose la incidencia de los otros a un nivel menor.

### 3.2.1 Condiciones generales para el desarrollo tecnológico

Muchos países en vías de desarrollo se han visto forzados a orientarse hacia la economía de mercado y hacia una integración activa en el mercado mundial, ya que los antiguos factores generadores de ventaja competitiva basados en la división del trabajo pierden fuerza ante factores tecnológicos.

En el marco de la ventaja competitiva a través de la división del trabajo eran ventajosos los bajos costos laborales que incitaban a trasladar a otras partes determinados segmentos de la producción; en el futuro la ventaja competitiva estará basada en la capacidad de afrontar con éxito ciclos cortos de vida de un producto y la capacidad de fabricarlo con eficiencia, por ello las firmas más competitivas no son ni serán aquellas que explotan a sus trabajadores con la mayor eficacia, sino aquellas que saben aprovechar mejor la creatividad de su personal.

---

<sup>141</sup> Ibídem 129

Respecto a los factores naturales de localización, su importancia se ve debilitada precisamente por nuevas tendencias tecnológicas. Los países en vías de desarrollo deberán olvidarse de basar su prosperidad en la exportación de materias primas en bruto, ya que estos países afrontarán: <sup>142</sup>

1. Débil base política de proyectos tecnológicos.
2. Desventajas inherentes a la especialización científica–tecnológica.
3. División excesiva de trabajo.
4. Fortalecer la vinculación entre las necesidades de la sociedad y la investigación y desarrollo.

Los proyectos de orientación tecnológica en países semi–industrializados deberán guiarse por las siguientes pautas: <sup>143</sup>

- Identificar sectores sustanciales en los cuales un país puede desarrollar ventajas competitivas.
- Reducir la promoción de la investigación de punta.
- Pasar de una orientación elitista en la ciencia y la tecnología al desarrollo de una base más amplia.
- Mejorar la vinculación entre institutos de investigación y de tecnología o universidades por un lado y productores por el otro.
- Financiamiento a base de capital de riesgo.
- Promoción financiera e impositiva.
- Financiamientos de programas de información y promoción sobre métodos e inicios prácticos para control y aseguramiento de la calidad.
- Procesos dirigidos a la vigilancia de los derechos de autor.

### 3.2.2 Determinación del paquete tecnológico

- |                |   |          |
|----------------|---|----------|
| 1. Proyección  | ⇒ | Pasado   |
| 2. Diagnóstico | ⇒ | Presente |
| 3. Prospectiva | ⇒ | Futuro   |

---

<sup>142</sup> *Ibidem* 129

<sup>143</sup> *Ídem*

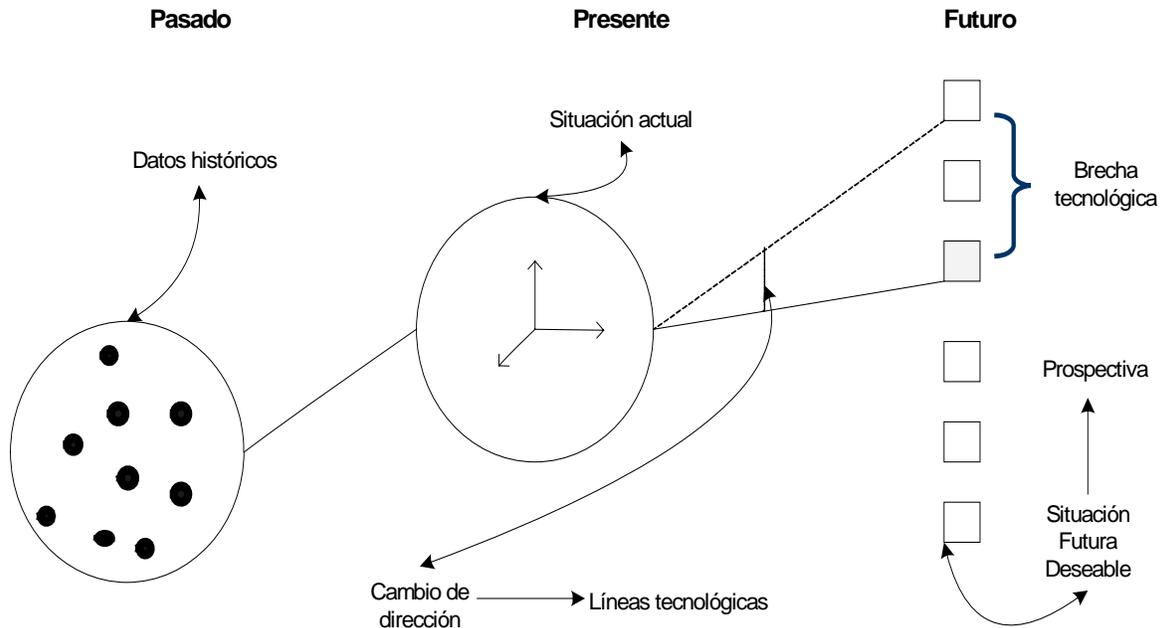


Figura 41. Diagrama de estado tecnológico.<sup>144</sup>

### 3.2.3 Líneas Tecnológicas<sup>145</sup>

#### A. Liderazgo tecnológico.

Requiere de lograr y mantener una posición vanguardista en las tecnologías de punta e incipientes de la industria o en la aplicación de estas tecnología al sector de la empresa. Sólo se puede perseguir si se tiene una posición competitiva muy fuerte.

#### B. Estrategia de seguidor.

Requiere de una fuerte inversión en las tecnologías de punta, con el objeto de poder seguir de cerca al líder. Igualmente presupone una fuerte posición competitiva y puede ser la base y punto de partida para conseguir el liderazgo tecnológico si la empresa puede asignar más recursos económicos y humanos a la innovación o si el líder comete un error.

#### C. Adquisición de tecnología.

Esta estrategia tiene por objeto adquirir tecnología mediante licencias o contratos con otras empresas cuya tecnología es de punta o recursos técnicos son avanzados. Es adecuada para empresas con fuerte posición competitiva pero con una débil base tecnológica.

<sup>144</sup> Ibídem 129

<sup>145</sup> Ibídem 133

#### **D. Estrategia de nicho tecnológico.**

Está orientada a explotar selectivamente puntos tecnológicos de una determinada área a partir de una posición competitiva favorable, aunque no muy fuerte. Ampliando generalmente el nicho, se puede mejorar la posición competitiva y la empresa puede pasar a una estrategia de seguidor o incluso de líder.

#### **E. Estrategia de “Joint – Venture”.**

Es apropiada para empresas en una posición competitiva débil que han logrado un avance o invento importante pero carecen de los recursos financieros necesarios para convertirlo en una innovación para su comercialización; una estructura de “joint-venture” puede permitir moverse hacia un nicho tecnológico.

#### **F. Estrategia de reconversión.**

Para empresas que se encuentran en posiciones débiles o medianas tanto en tecnología como en capacidad competitiva, sólo les queda la alternativa de reconversión o de liquidación.

### **3.2.4 Innovación Tecnológica**

El proceso de innovación tecnológica abarca todo un espectro de actividades que se inicia con la búsqueda de necesidades tecnológicas y se extiende hasta la comercialización en el mercado de los bienes o servicios que derivan de la I+D; esto implica satisfacer necesidades y no necesariamente ejecutar proyectos de I+D.

La generación de cambios técnicos puede estar esencialmente basados en informaciones técnicas disponibles (normas, patentes, publicaciones, etc.) o en la compra de tecnología producida por terceros (innovación por adopción). Para que los proyectos de I+D tengan consecuencia económico-social, necesitan estar vinculados a necesidades tecnológicas específicas de organizaciones exigentes del sector productivo. Existen tres tipos de innovaciones generalmente aceptadas:<sup>146</sup>

- a) *Innovaciones que se refieren a la administración de sistemas complejos.* Es donde el cambio tecnológico se encuentra presente y se caracterizan por la planeación a largo plazo. Como ejemplo: proyectos espaciales y de defensa.
- b) *Innovaciones radicales.* Son aquellas que representan el desarrollo tecnológico más dramático y ocasionan cambios en la industrial. Se originan de la aplicación de innovaciones graduales de otros sectores o áreas de actividad o de la aplicación de nuevos conocimientos científicos, generados a partir de proyectos de investigación básica y requieren de inversiones significativas. Por ejemplo: la electrónica de estado sólido, la xerografía, la telefonía celular, etc.
- c) *Innovaciones graduales.* Son aquellas que son vitales para la supervivencia de la empresa y derivan de mejoras que no cambian sustancialmente los productos, procesos o equipos existentes, o de desarrollos que pueden implicar esfuerzos de

---

<sup>146</sup> Ibídem 129

desarrollo e ingeniería o de investigación. Este tipo de innovación está más involucrada como factor económico que las otras dos innovaciones.

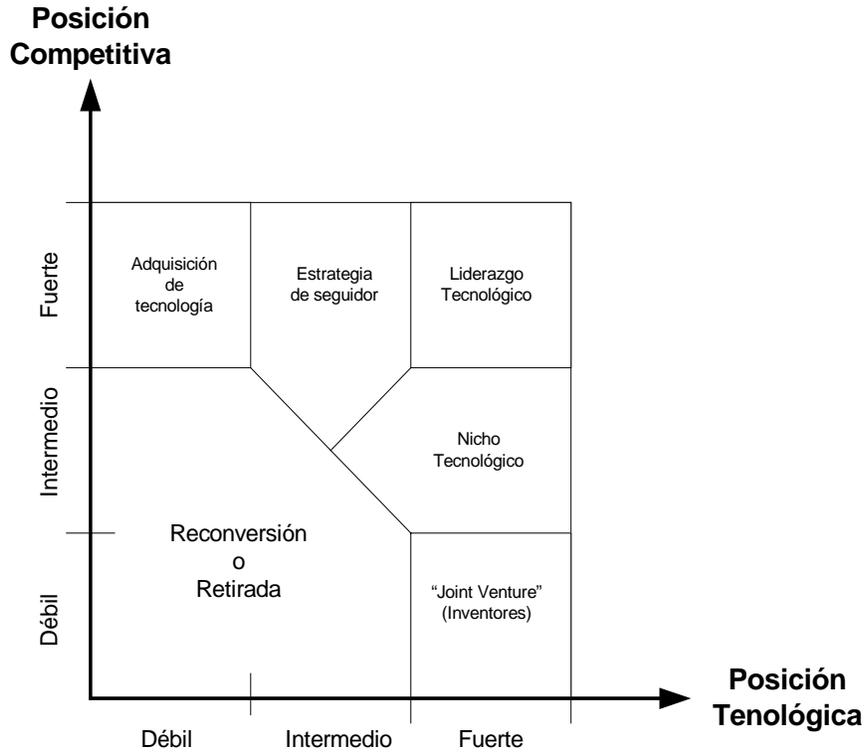


Figura 42. Líneas tecnológicas. <sup>147</sup>

Tabla 13. Tipos de innovaciones y sus relaciones. <sup>148</sup>

Tipos de Innovaciones y sus relaciones		
Innovación de Sistemas	Innovación Radical	Innovación Gradual
Planeación a largo plazo	Planeación a mediano plazo	Planeación a corto plazo
Implica la administración de desarrollos complejos	Implica ventaja en la productividad	Implica cambios pequeños, sin alterar demasiado el equipo procesos existentes
Grandes inversiones	Inversiones significativas	Suele requerir inversiones significativas
Impacto nacional o mundial	Impacto en el sector	Impacto inmediato en la empresa

En esencia, cualquier mejora a un proceso de transformación se considera como innovación tecnológica; por otra parte, en función de la permanencia en el mercado se suele clasificar como:

<sup>147</sup> Ibídem 129

<sup>148</sup> Ídem

Si no hay permanencia      ⇔      Desarrollo Tecnológico  
 Si hay permanencia        ⇔      Innovación Tecnológica

El tiempo es esencial en la innovación; una innovación debe entrar en su justo tiempo en el mercado.

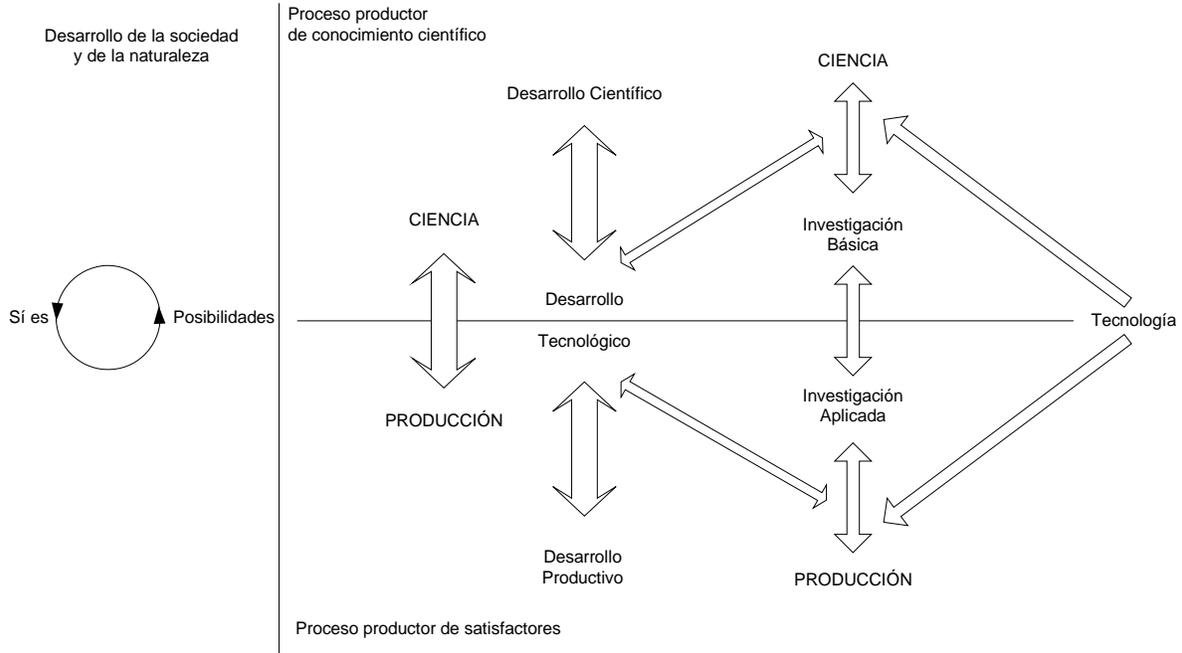


Figura 43. Creación de tecnología. <sup>149</sup>

### 3.2.5 Asimilación tecnológica

Desde el punto de vista etimológico la palabra tecnología proviene de los vocablos *tekhné* (técnica) y *logos* (palabras, proposición, discurso). La *tekhné* es un saber hacer, un grado más alto que el término *empeiría* (experiencia) que define un conocimiento inmediato y directo de las cosas. En cuanto al vocablo *logos*, se dice que es la razón que se da de algo, es decir, es lo que hoy conocemos como concepto; tecnología entonces es “*el estudio del saber hacer las cosas y tiene más implicaciones intelectuales que la simple habilidad para hacerlas*”.<sup>150</sup>

La expresión *know-how*, es de origen norteamericano y quiere decir *saber cómo hacer esto*. El *know-how* comprende conocimientos técnicos no patentados destinados al desarrollo de cualquier actividad capaz de aumentar su valor a través de ellos, por lo que se pretende guardarlo en secreto. El valor del *know-how* radica en su secreto y crece con el interés del que desea tenerlo, por lo que quien lo tiene, quiere conservarlo para sí o transmitirlo a cambio de concesiones comerciales. Generalmente pierde su valor al ser del dominio público.<sup>151</sup>

<sup>149</sup> Investigación y desarrollo, UPIICSA,IPN, México, 1984, Dr. A. Pacheco.

<sup>150</sup> Asimilación de tecnología, José Fernando Guerrearo Salazar, 1988, IPN.

<sup>151</sup> Ídem

La asimilación de tecnología es un proceso de aprovechamiento racional y sistemático del conocimiento, por el cual, el que tiene una tecnología, profundiza en su conocimiento incrementando notablemente su avance en la curva de aprendizaje respecto al tiempo. Sus objetivos son: primero, ser competitivos; segundo, ser capaces de generar optimizaciones que incrementen calidad y productividad.

La asimilación de tecnología no es un fin en sí mismo, sino un medio para que las funciones técnicas dirigidas al objetivo de producir un bien o servicio se realicen lo más eficientemente posible, debido a que cuentan con la mejor información y conocimientos disponibles.

La asimilación de tecnología consta de tres actividades.<sup>152</sup>

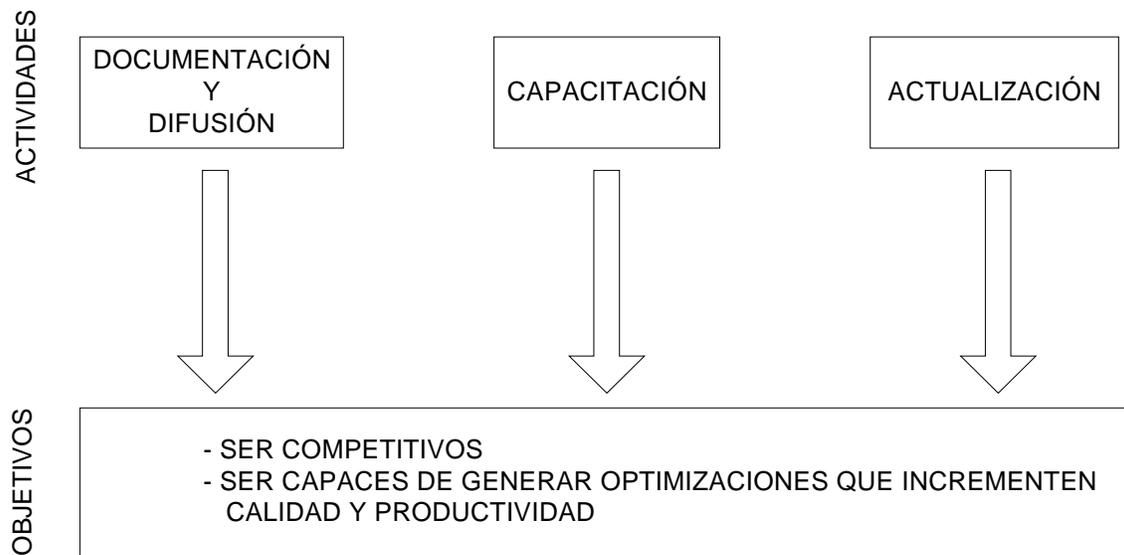
- 1) Documentación y difusión
- 2) Capacitación
- 3) Actualización

Entre otras razones, la tecnología se asimila:

- Por el conocimiento detallado del proceso, el cual se ve constantemente mejorado debido a innovaciones menores que se efectúan bajo control.
- Incremento de la calidad.
- Se facilita la capacitación del personal de nuevo ingreso.
- Reducción de costos.
- Al operar con tecnología licenciada, la asimilación permitirá que, al finalizar los contratos de licencia, ya no sea necesario renovar el contrato, o bien, en la renegociación se obtengan mejores condiciones en el licenciamiento.
- La rotación de personal rompe con muchos esfuerzos técnicos y en ocasiones significa pérdida de años de trabajo. La asimilación de la tecnología es la solución a este problema.

---

<sup>152</sup> *Ibidem* 129



**Figura 44. Actividades y objetivos de la asimilación tecnológica.** <sup>153</sup>

No existe una receta para lograr la asimilación de la tecnología. No obstante, se debe definir en dónde se está y a dónde se quiere llegar en materia tecnológica; esto se basa en el grado de asimilación tecnológica. Existen seis grados de asimilación tecnológica, los cuales se definen en función del enfoque interno y externo a la organización y del impacto en la competitividad interno y externo a la organización.

<sup>153</sup> *Ibíd*em 146

Tabla 14. Grados de asimilación de tecnología (Definir de dónde se está y a dónde se quiere llegar en materia tecnológica)<sup>154</sup>

Grado de asimilación	Enfoque		Impacto en la competitividad	
	Hacia adentro (Procedimientos y métodos de manufactura del producto)	Hacia fuera (El producto en el mercado)	Hacia adentro (Productividad: mano de obra, equipo y materiales, energía, etc.)	Hacia fuera (Mercadotecnia: calidad, servicio, imagen, participación de mercado, etc.)
<b>1. Dependencia completa</b>	Se desconoce producto y proceso. Las decisiones están en manos del propietario de la tecnología.	No se conoce el uso del producto.	Altos costos.	Sólo mercados cautivos.
<b>2. Dependencia relativa</b>	Hay experiencia en producir el producto. Las decisiones locales se limitan a nivel de pregunta o sugerencia.	Se busca, mediante el producto licenciado, se busca saber lo que quiere el usuario.	No hay mucho interés en ser competitivo vía productividad.	Se busca mantener la posición de mercado local.
<b>3. Creatividad incipiente</b>	Se inician adaptaciones y sustituciones en materias primas, diseño y especificaciones mínimas adecuadas. Cualquier modificación requiere de la participación del licenciador.	Se identifican especificaciones que dan valor de uso al producto en nuestro mercado y se empiezan a optimizar.	Se es líder en el mercado nacional en eficiencia, costos y calidad.	El servicio y la calidad proporcionan la imagen de empresa en desarrollo.
<b>4. No dependencia</b>	Se empieza a capitalizar el cambio menor, la mejora evolutiva y la curva de aprendizaje, basándose en la operación misma de la planta.	Se dominan las aplicaciones y uso del producto; además se da servicio como parte importante.	Se compite a nivel mundial en cuanto a costos globales.	Se es líder en el mercado nacional, se exporta de 20 a 40% en condiciones favorables de demanda mundial.
<b>5. Autosuficiencia</b>	Se generan productos y procesos nuevos por extrapolación. Se puede competir con el licenciario en nuestro mercado, sin necesidad de protección contra las importaciones. No hay dependencia de un solo proveedor.	Se dominan las aplicaciones y uso del producto, así como las variables críticas de diseño. Se da servicio propio, autogenerado.	Altos promedios a nivel mundial. Se es competitivo en todos y cada uno de los renglones de costo	Se acredita marca y nombre a nivel mundial. Se empieza a exportar sistemáticamente.
<b>6. Excelencia</b>	Se tienen procesos que optimizan el uso de los recursos propios en forma totalmente competitiva. Se domina el mercado y se tiene una fuerte posición de negociación con proveedores.	Se compite a nivel mundial (se exporta más del 30%). Se investiga y desarrolla para satisfacer necesidades del futuro.	Procesos y productos en constante optimización. Se tiene una clara posición ventajosa en cuanto a costo y calidad.	Se reconoce a nivel mundial la calidad, costo y servicio de los productos. Los clientes mundiales nos buscan.

<sup>154</sup> Grupo TMIQ, Guía de asimilación de tecnología, Mayo de 1984.

Se dice que se logra la transferencia de tecnología cuando una organización es capaz de trasladar y asimilar la tecnología, no obstante, la transferencia tecnológica está mundialmente protegida por los gobiernos a través de varios instrumentos legales, conocidos en conjunto como *Propiedad Intelectual*.

Los productos tecnológicos representan uno de los pocos artículos comerciales para los cuales el gobierno puede otorgar derechos de monopolio por un período de tiempo, esto es, en forma de *patente*.

El sistema internacional de patentes se establece como una barrera comercial de los países desarrollados en contra de los países en vías de desarrollo, debido al importante auge de la estrategia de seguidor.

### 3.2.6 Propiedad intelectual

La propiedad intelectual se define a través de varios instrumentos:<sup>155</sup>

- a. *Patentes*. Es el derecho o privilegio legal que concede el Estado a una persona física o moral, durante un plazo fijo, para producir o utilizar en forma exclusiva, o a través de un tercero bajo su licencia, un producto o procedimiento que haya resultado de la actividad inventiva.
- b. *Certificados de inversión*. Se aplica para las invenciones no patentables. Esta figura permite la obtención de regalías para el inventor, pero éste carece del derecho de explotación exclusiva del invento.
- c. *Marcas*. En principio, las marcas tienen la función económica de permitir al consumidor distinguir entre diversos productos y de informar sobre el contenido y propiedades de cada uno. Son un distintivo que permite a su titular distinguir sus productos a servicios de los de la competencia. Son un activo intangible.
- d. *Secreto Industrial*. Llamada también cláusula de secrecía, evita la difusión o uso de todo conocimiento desarrollado en la organización.

La importancia de la propiedad intelectual en el proceso de transferencia radica en el diferencia entre lo que se paga y de lo que se compra: *“El que vende sabe lo que vende, el que compra no sabe lo que compra”*

La condición de innovación es que un desarrollo llegue al mercado y permanezca. Los países comunistas tuvieron la mayor relación investigación/población; sin embargo, sus condiciones de mercado evitaron que se cumpliera la condición de innovación tecnológica. La mayor actividad de desarrollo económico ocurre durante el desarrollo de productos. El número de patentes registradas es un indicador de la actividad económica, ya que depende de las políticas económicas y gubernamentales.

Cuando se dispone de una serie de actividades escritas (manuales, software) que no son patentables, se recurre a los *derechos de autor*. El proceso de transferencia de tecnología

---

<sup>155</sup> *Ibidem* 129

se asocia con la compra de tecnología, cuando en la realidad es un proceso que va más allá. Un proceso de transferencia se compone de seis puntos: <sup>156</sup>

1. Selección de proveedores de tecnología. Fuentes de información, proveedores potenciales, etc.
2. Información preeliminar.
3. Potencial de adaptación. Entorno.
4. Selección de la tecnología básica. Diferencias fundamentales.
5. Negociación de la tecnología básica. Valor de uso y valor de cambio.
6. Contrato de tecnología. Se compone de un cuerpo principal y de una serie de anexos.

### **3.2.7 Vinculación Escuela – Industria**

Aparte de una contribución directa a la educación, incluyendo el empleo de tecnologías modernas de educación, las universidades pueden desempeñar un papel importante ayudando a crear un clima social favorable para el desarrollo, sin embargo, la mayoría de las universidades han tendido a promover una élite exclusiva, sin contacto con el pueblo y las necesidades nacionales.

En algunos países las universidades se han preocupado justamente por el mantenimiento de su autonomía frente a las amenazas de interferencia política, pero la libertad académica y la autonomía universitaria no necesitan impedir una participación activa en el desarrollo nacional. Entre el personal académico, generalmente se reconoce la importancia de la ciencia como disciplina intelectual y como actividad cultural, pero a menudo se ignora su valor como una fuente de riqueza material para el país.

A un científico se le juzga con base en su trabajo publicado. En tales circunstancias, el personal dedicado a la investigación, a menudo en un aislamiento local, tiende a seguir los dictados y las modas de la comunidad científica mundial, que son en forma preponderante los del mundo desarrollado; por esta razón, el trabajo de investigación está frecuentemente más vinculado a los problemas del mundo desarrollado que a las necesidades locales; el adiestramiento en el extranjero puede no hacer otra cosa que exacerbar estas tendencias. Por otra parte, las grandes cargas de la enseñanza y la administración y la necesidad de aumentar los ingresos con trabajos externos, hacen que para muchos profesores sea casi imposible la investigación o aún el contacto con ella. Los maestros pierden lentamente su contacto con los progresos de su campo, las facultades tienden a volverse tradicionales, fragmentadas en estrechas disciplinas y pierden rápidamente todo espíritu creador que les quede.

Las universidades pueden fortalecer la confianza de la comunidad industrial y comercial proporcionando servicios útiles y mediante la investigación por contrato. Tales contratos con los futuros empleadores, complementados con una relación constante con los egresados, pueden ayudar a las universidades a adaptar mejor sus programas de estudio

---

<sup>156</sup> Ídem

para tomar en cuenta el hecho de que la mayoría de los científicos y los tecnólogos se emplearían con mayor utilidad en la solución de los problemas nacionales.

Las principales funciones de investigación en un país en desarrollo deben ser: <sup>157</sup>

- Ayudar a seleccionar y adaptar los conocimientos científicos y tecnológicos existentes para la satisfacción de necesidades nacionales específicas.
- Mantener contacto con las innovaciones que se desarrollen en otras partes y que puedan tener importancia local.
- Aumentar los conocimientos existentes en campos de importancia potencial, con énfasis particular en las áreas que por varias razones no se estudian o no se pueden estudiar en otras partes, como sucede con los recursos naturales no renovables o los problemas sociales locales.
- En la medida de lo posible, dentro de los límites de lo anterior, servir como actividad (necesaria) en el adiestramiento del personal científico, técnico y de sus maestros.

Los centros educativos deben contar con una *unidad de vinculación*, conformada por elementos externos y su misión debe ser la de un intermediario entre las variables estratégicas: conocimiento y recursos económicos. Su estructura debe ser matricial, independiente y tripartita:

Universidad	⇒	Coordinador
Gobierno	⇒	Facilitador
Empresa	⇒	Promotor

---

<sup>157</sup> Ibídem 129

## CONCLUSIONES

La planeación estratégica no es un camino para lograr la situación futura deseada, más bien se podría comparar con el ir hacia esa situación y en parte se debe a que es un proceso dinámico que además depende de los dirigentes organizacionales y su capacidad para establecer los elementos de la misión, visión y valores que, además, sean compartidos por todos los dirigentes de la organización.

El estilo de dirección de los responsables de la planeación estratégica en la organización orientará la forma en que se integra la estrategia final, por lo tanto, se deben utilizar los tres estadíos del tiempo en todo el proceso, porque sólo así se relacionará el pasado con el presente y éstos con el futuro, de otra manera no serán tomados en cuenta aspectos importantes de la organización que limitarán los efectos de las estrategias planteadas.

Como el entorno actual es turbulento al momento de crear nuevas estrategias, las condiciones son cambiantes y por ello las estrategias planteadas deben ser evaluadas de manera constante y permanente.

## CAPÍTULO 4. VISIÓN EOLOELÉCTRICA EN MÉXICO Y CONFORMACIÓN DE LA ESTRATEGIA

*El progreso y el desarrollo son imposibles si uno sigue haciendo las cosas tal como siempre las ha hecho*  
Wayne W. Dyer

### INTRODUCCIÓN

En éste capítulo se establecerán los elementos necesarios para proponer las estrategias que permitan al país desarrollarse en el campo de la energía eólica.

En México aún existen barreras que impiden el desarrollo de las energías renovables y en particular de la energía eólica; para eliminar dichas barreras, es necesario realizar un esfuerzo coordinado, objetivo y sostenido, para la cual se requiere de la formulación, concertación y gestión de planes, programas y acciones diseñados de acuerdo con las necesidades y oportunidades del país, en función de situaciones y perspectivas realistas.

Han pasado cerca de 15 años desde que la CFE instaló la primera central eoloeléctrica en La Venta (1994). A pesar de que los resultados de desempeño de la primera central eoloeléctrica en México han sido notables, pasó mucho tiempo para que se autorizara licitar la ampliación de la central La Venta.

Encontrar la manera de impulsar el desarrollo eoloeléctrico en México en escala significativa no sólo es aprovechar la oportunidad de contribuir al abasto de energía y de diversificar la generación eléctrica, sino también es aprovechar un nicho de oportunidad para crear nuevos empleos, reactivar áreas del sector productivo e impulsar el desarrollo regional.

Así, hoy tenemos la oportunidad y la responsabilidad de emprender acciones y tomar decisiones que abran nuevas oportunidades a las próximas generaciones. La diversificación y la innovación son elementos fundamentales para el progreso. Contamos con un recurso energético eterno que ya está siendo aprovechado en otros países; tarde o temprano los recursos energéticos convencionales escasearán y subirán de precio de manera gradual. Comenzar a abrir la mente a los posibles escenarios energéticos del futuro, facilitará la aceptación de nuevas ideas y el cambio de viejos paradigmas.

Finalmente, cabe hacer énfasis con respecto a que las tecnologías convencionales y las no convencionales para generación de electricidad no son adversarias sino que son complementarias. Esta es una verdad indiscutible que reafirma la necesidad de abrir las puertas al complemento que ahora está faltando.

### 4.1 VISIÓN EOLOELÉCTRICA EN MÉXICO

De acuerdo al modelo de los tres vectores ya definido (figura 33, página 82), así como al de la conformación de la estrategia (figura 36, página 85) se procederá a cumplir con el objetivo del trabajo. Usando como referencia la figura 35 de la página 84, (la cual se presenta a continuación) se inicia el proceso de la *estrategia tecnológica integral*.

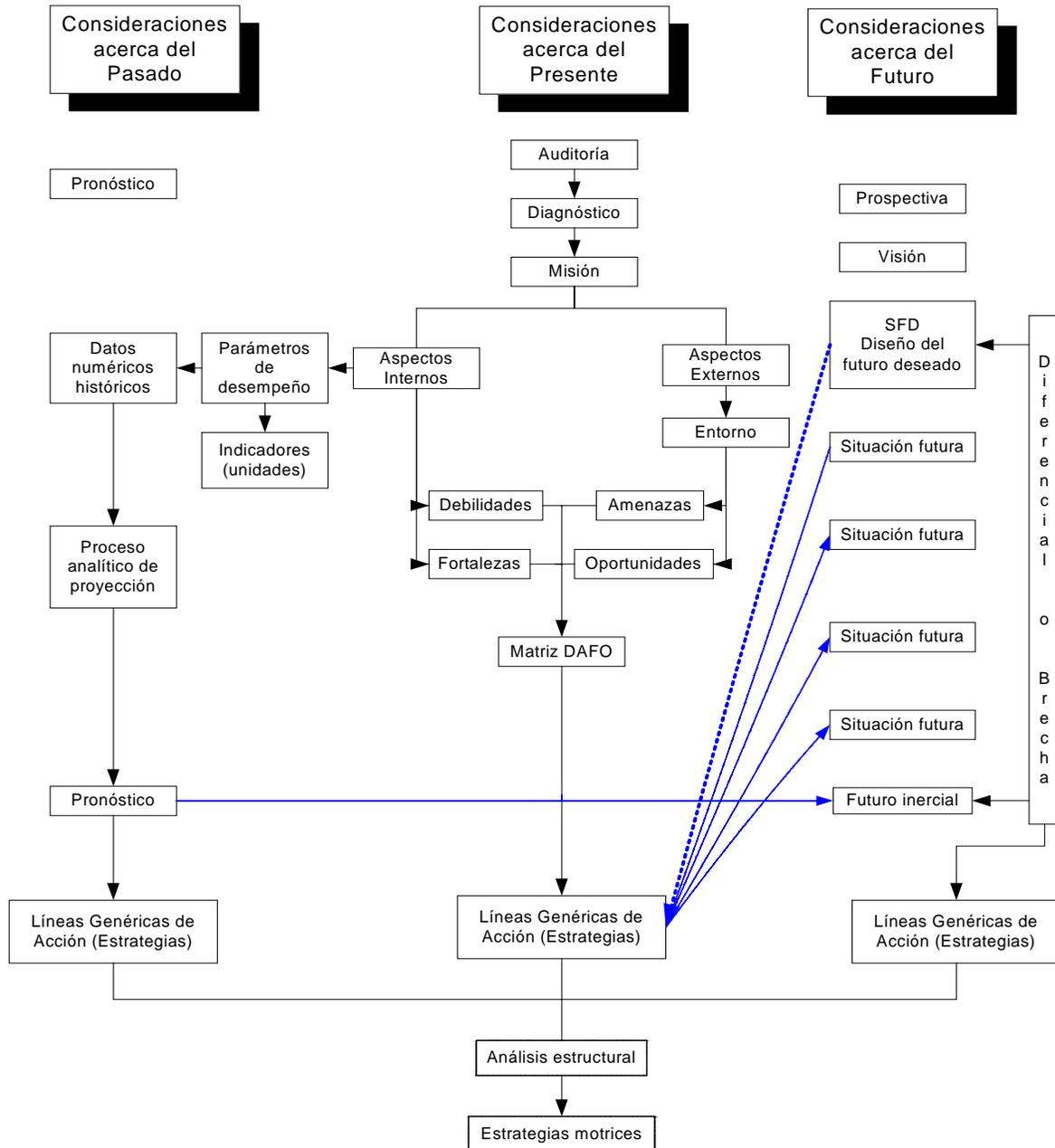


Figura 45. Planeación estratégica integral (considerando los tres estadios en el tiempo)<sup>158</sup>

<sup>158</sup> *Ibidem* 118

Resulta muy conveniente, adelantando los resultados del estudio que más adelante se desarrollará, establecer claramente el marco legal y organizacional que sustenta el Sector energético nacional.

En un inicio, resulta importante exponer los conceptos inherentes a la Secretaría de Energía como cabeza del sector y al mismo tiempo los propios de la Comisión Federal de Electricidad. No obstante, los aspectos medulares del estudio se concentrarán en la propia Comisión. Por otra parte, debido a las condiciones legales, organizacionales y operativas de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, sólo se le tomará en cuenta cuando resulte pertinente.

#### 4.1.1 Estructura actual del marco regulatorio

El marco regulatorio en el sector eléctrico mexicano está compuesto por diversas leyes, reglamentos y normas, a continuación se presentan las más importantes:<sup>159</sup>

- A. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- B. Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)
- C. Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE)
- D. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

##### A. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

De acuerdo con nuestra Constitución Política, en los últimos años se ha hecho posible la inversión privada en producción de energía bajo el *esquema de productor externo*, bajo el cual se encuentra la mayoría de la inversión privada; en este esquema se firma un contrato con CFE a 25 años para venderle toda la capacidad instalada; este concepto ha sido bastante exitoso debido a que CFE compra el KW/h a un precio más competitivo en el mercado mundial. De esta forma, actualmente el 25 por ciento de la generación de electricidad en el país, se encuentra en manos de productores externos de energía, con alrededor de 13 mil MW de capacidad instalada. Por otra parte, en referencia al uso de los energéticos renovables, éste sólo es utilizado por particulares para autoabastecimiento. Las bases para el uso de esta modalidad se encuentran expuestos en los artículos 25, 26 y 28 de nuestra Constitución.

Artículo 25: Corresponde al estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable... La ley alentará y protegerá la actividad económica que realicen los particulares y proveerá las condiciones para que el desenvolvimiento del sector privado contribuya al desarrollo económico nacional,...

Artículo 26: El estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación...

Artículo 28: ...no constituirán monopolios las funciones que el estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos... generación de energía nuclear, electricidad y las actividades que expresamente señalen en las leyes que

---

<sup>159</sup> [www.cre.gob.mx](http://www.cre.gob.mx), Comisión Reguladora de Energía. Consultada en Mayo de 2007.

expida el Congreso de la Unión... y al otorgar concesiones o permisos mantendrá o establecerá el dominio de las respectivas vías de comunicación de acuerdo con las leyes de la materia.

### **B. Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).**

En 1992, es publicada esta ley, la cuál permite la generación de electricidad a particulares en las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, generación independiente y exportación.

Con esta ley se permite a personas físicas o morales generar su propia electricidad (*autoabastecimiento*); producir electricidad a partir de vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, destinada al autoabastecimiento de los productores (*cogeneración*); generar electricidad proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW destinada exclusivamente a su venta a la CFE o a la exportación (*producción independiente*); generar electricidad (hasta 30 MW) para ser vendida exclusivamente a CFE, la cuál estaría obligada a comprarla, mediante un contrato específico, o destinada a la exportación o al autoabastecimiento de zonas rurales, en cuyo caso el límite máximo sería de 1 MW (*pequeña producción*); generación de electricidad para destinarse a la exportación, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción, que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos (*exportación*); adquisición de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero (*importación*).<sup>160</sup>

Los motivos que condujeron a la realización de esta ley fueron, entre otros, la modernización de la prestación del servicio público, el aumento de la inversión privada para reducir la carga financiera al estado y el aumento en la productividad.

Sin embargo, al surgir nuevas modificaciones a la LSPEE, éstas no favorecieron a la producción de electricidad mediante fuentes de energía renovables, sobre todo en los aspectos de compra-venta de excedentes de energía y energía faltante, por lo que muchos proyectos de autoabastecimiento, en su mayoría eólicos, fueron cancelados. También se vio afectada la modalidad de generación independiente, ya que en una de las modificaciones hechas a la LSPEE, obligaba a CFE comprar la energía eléctrica que resultará más barata.

### **C. Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE)**

Desde 1995 y hasta la fecha, el órgano regulador del sector eléctrico mexicano es la CRE (Comisión Reguladora de Energía), la cual cuenta con total autonomía para regular el sector eléctrico y el gas natural en México. Su objetivo principal es promover el desarrollo eficiente de la industria eléctrica y de gas natural mediante una regulación que permita: proteger la prestación de servicios, mantener una competencia equitativa, proteger los intereses de los usuarios, propiciar una adecuada cobertura nacional y atender la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y prestación de los servicios.

A nivel federal, en el sector eléctrico, la CRE sienta las bases y los criterios para determinar el monto que aportarán los gobiernos de los estados, ayuntamientos y beneficiarios del servicio público de energía eléctrica, para realizar obras solicitadas por

---

<sup>160</sup> Prospectiva del sector eléctrico 2006 – 2015. SENER 2006.

ellos mismos, como ampliaciones o modificaciones de obras existentes; además, la CRE tiene participación en fijar las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica.

La CRE también es la encargada de otorgar y revocar los permisos y autorizaciones para generación, exportación e importación de energía eléctrica que realicen los particulares; se encarga de la adquisición de energía eléctrica destinada al servicio público y de los servicios de conducción, transformación y entrega de energía entre entidades que tienen a su cargo el servicio público, y entre éstas y los particulares. En materia de energías renovables, la CRE ideó algunos conceptos solamente aplicables a este tipo de generación eléctrica:<sup>161</sup>

- *Energía sobrante.* Cuando un permisionario entrega a sus centros de consumo una cantidad de energía mayor a la correspondiente de su potencia comprometida de *porteo* o cuando la demanda de los centros de consumo sea menor a la potencia entregada en el punto de interconexión.
- *Energía faltante.* Cuando una fuente de energía no satisface la potencia de compromiso de *porteo* con sus centros de consumo.
- *Suministro normal de energía.* Cuando los centros de consumo requieran de energía mayor a la que reciben.

#### **D. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en la industria eléctrica.**

Las Normas Oficiales Mexicanas en el sector eléctrico están referidas al control de niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera (humos, partículas suspendidas, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno). Además, éstas regulan por zonas y por capacidad del equipo de combustión en fuentes fijas que utilizan combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Existen tres zonas críticas definidas por la NOM las cuales son la zona metropolitana, las ciudades fronterizas y los corredores industriales. Las principales NOM's que determinan la normatividad ecológica en la industria eléctrica son:

- **NOM-085-ecol-1994.** Regula, por zonas y por capacidad, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes del equipo de combustión de fuentes fijas que utilizan combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Modificada en 1997 y desde el 2000 en revisión por las autoridades del medio ambiente y energéticas del país, con objeto de incluir a las nuevas centrales eléctricas.
- **NOM-cca-001-ecol/96.** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.
- **NOM-114-ecol-1998.** Establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica.

---

<sup>161</sup> La definición de fuente de energía renovable fue modificada y publicada en el DOF del 26 de febrero de 2003. El 30 de enero de 2006, se publicó en el DOF la modificación que permite reconocer la capacidad de los generadores a partir de energía renovable del tipo intermitente.

Adicionalmente existen 16 NOM's de eficiencia energética que regulan los consumos de energía eléctrica de equipos y sistemas que ofrecen un potencial de ahorro.

#### **4.1.2 Panorama organizacional de la Secretaría de Energía y la Comisión Federal de Electricidad como cabezas del sector eléctrico de México**

##### **Secretaría de Energía (SENER) <sup>162</sup>**

###### **MISIÓN:**

1. Conducir la política energética
2. Garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos

###### **OBJETIVOS:**

1. Garantizar suministro eléctrico
2. Cumplir con acuerdos internacionales en materia de emisiones contaminantes por generación eléctrica

**VISIÓN:** Tener un población con electricidad a precios competitivos, con empresas públicas y privadas de calidad mundial, operando dentro de un marco legal y regulatorio adecuado. Con un firme impulso al uso eficiente de la energía y a la investigación y desarrollo tecnológicos; con amplia promoción del uso de fuentes alternativas de energía; y con seguridad de abasto.

###### **ATRIBUCIONES PRINCIPALES:**

1. Autorizar los programas y aprobar las especificaciones de obras e instalaciones para generación, conducción y transformación de energía eléctrica.
2. Determinar las necesidades de crecimiento o de sustitución de capacidad de generación.
3. Determinar si las nuevas instalaciones serán ejecutadas por las entidades paraestatales o por particulares.
4. Autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica.
5. Participar en el ajuste, modificación o reestructura de las tarifas eléctricas que fija la SHCP.
6. Aprobar los lineamientos de los presupuestos de CFE y LyFC.
7. Aprobar las bases de licitación de nuevos proyectos de generación.

---

<sup>162</sup> <http://www.energia.gob.mx> , SENER 2007, México. Revisada en Agosto de 2007.

**Comisión Federal de Electricidad (CFE):<sup>163</sup>**

Tiene 24.5 millones de clientes, aproximadamente 80 millones de personas dependen energéticamente de ellos (LyFC da servicio a poco más de cinco millones de clientes, lo que representa una población atendida superior a 20 millones de habitantes en el Distrito Federal y los Estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla).

**MISIÓN:**

1. Asegurar servicio eléctrico en cantidad, calidad y precio, además de diversificar las fuentes de energía.
2. Atención de excelencia a clientes
3. Proteger el medio ambiente y promover el desarrollo social
4. Optimizar su infraestructura física y comercial

**OBJETIVOS:**

1. Mantenerse como la empresa #1 del país y una de las mejores del mundo
2. Reducir costos y aumentar eficiencia de la empresa
3. Ser reconocida como una empresa de excelencia en trato a clientes y medio ambiente
4. Operar sobre bases internacionales en productividad, competitividad y tecnología.

**VISIÓN:** Una empresa de clase mundial que satisfaga la demanda de electricidad nacional, que optimiza su infraestructura, que sea rentable, con imagen de excelencia, industria limpia y recursos humanos calificados.

**ATRIBUCIONES PRINCIPALES:**

1. Generar electricidad
2. Transmitirla
3. Distribuir la
4. Comercializarla

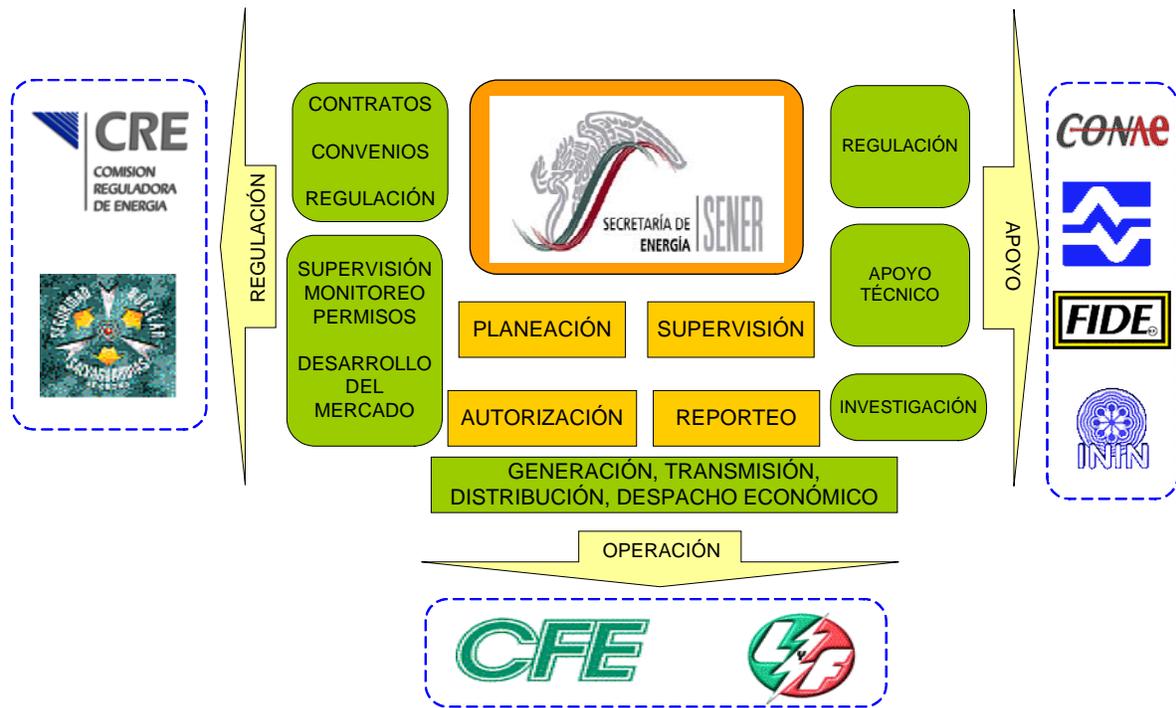
**4.2 MODELO DE LOS TRES VECTORES DETALLADO EN EL MOMENTO ACTUAL****VECTOR 1: MISIÓN**

Como puede comprobarse en los párrafos anteriores, la Secretaría de Energía, SENER, tiene como misión conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional; por su parte la Comisión Federal de Electricidad, CFE, busca dar un servicio eficiente y de calidad, buscando proteger el medio ambiente y promover el desarrollo social, optimizando su infraestructura física y comercial.

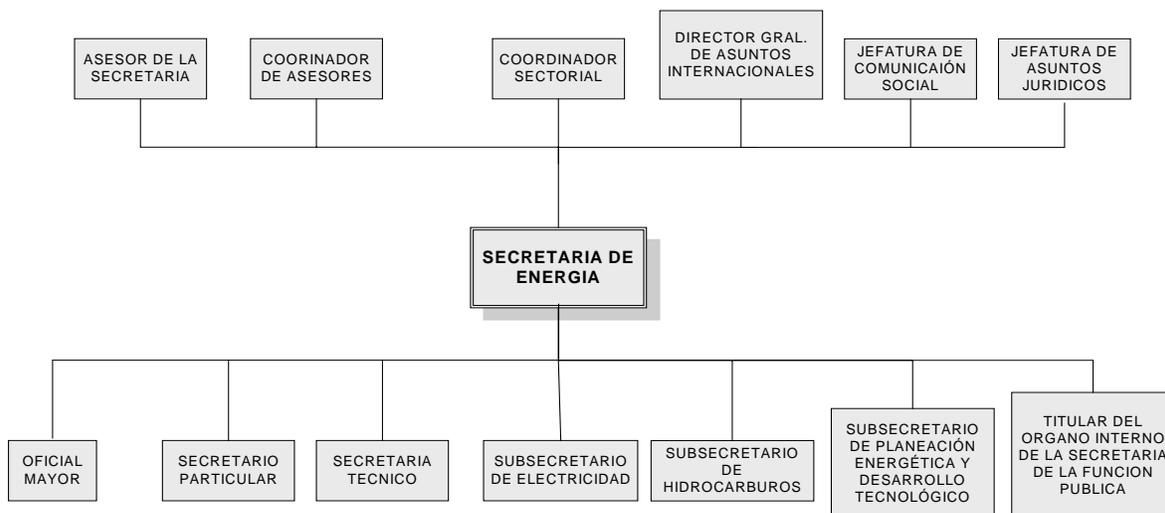
---

<sup>163</sup> <http://www.cfe.gob.mx>, Comisión Federal de Electricidad. Revisada en Agosto de 2007.

**VECTOR 2: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**

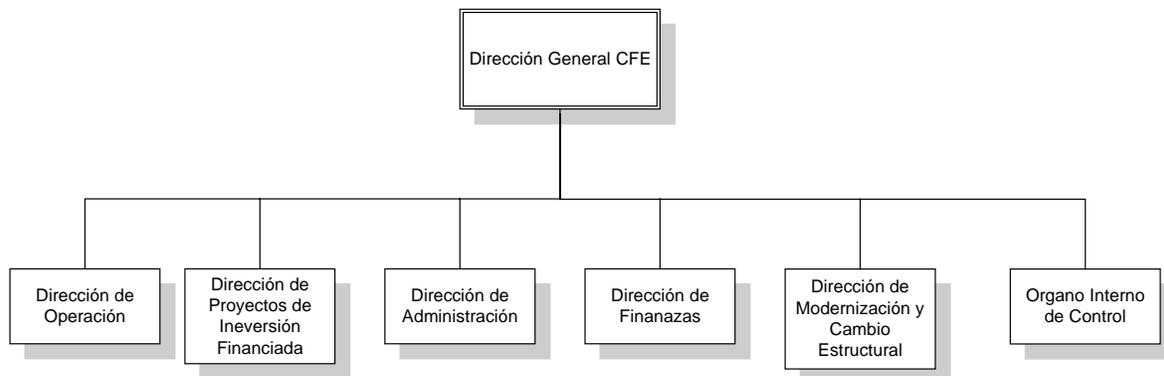


**Figura 46. Diagrama organizacional del Sector Eléctrico Mexicano.**<sup>164</sup>



**Figura 47. Estructura organizacional de la SENER.**

<sup>164</sup> Ibídem 158



**Figura 48. Estructura organizacional de CFE.**<sup>165</sup>

### **Aspectos horizontales:**

*División del trabajo.* CFE se divide básicamente en seis secciones: operación, proyectos de inversión financiada, administración, finanzas, modernización y cambio estructural, y un órgano interno de control.

*Departamentalización.* A su vez cada sección o dirección de la CFE, cuenta con subdirecciones (departamentos) relacionadas con cada aspecto importante

*Grado de especialización.* Cada departamento tiene personal con un grado de especialización en el área donde labora.

*Relaciones.* Cualquier decisión importante sobre proyectos deberá ser tomada en conjunto con la SENER, quien tomara la decisión final. La CFE depende de la SENER ya que es ella tiene la facultad de autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica; de participar en el ajuste, modificación o reestructura de las tarifas eléctricas que fija la SHCP; de aprobar los lineamientos de los presupuestos de CFE y LyFC y por último, de aprobar las bases de licitación de nuevos proyectos de generación.

### **Aspectos verticales:**

*Descentralización.* La CFE se encarga únicamente de la parte operacional: generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica.

*Niveles jerárquicos.* La CFE tiene principalmente cuatro niveles jerárquicos:

- Dirección general
- Direcciones de área
- Coordinaciones y departamentos de área
- Asistentes y personal en general

<sup>165</sup> Ibídem 158, 159

Tabla 15. Niveles jerárquicos en Comisión Federal de Electricidad (CFE)<sup>166</sup>

Nivel jerárquico	Funciones	Responsabilidades	Tramo de control
<b>Primer Nivel Dirección General</b>	-Diseñar estrategias y planes -Evaluar el cumplimiento de planes -Dirigir y organizar con los directores de área el rumbo de la empresa	-Supervisar y evaluar el logro de las metas establecidas	Seis direcciones
<b>Segundo Nivel Direcciones de Área</b>	-Establecen programas de trabajo de acuerdo con lo señalado por la dirección general -Controla que el trabajo se lleve a cabo por sus coordinaciones -Proporcionar información a dirección general para la toma de decisiones	-Cumplir con los lineamientos señalados por la dirección general	Coordinaciones y departamentos de área
<b>Tercer Nivel Coordinaciones y Departamentos de Área</b>	-Operar o desarrollar los programas de trabajo que marca la dirección de área por medio de proyectos establecidos -Elabora reportes de resultados -Supervisar el controlar el trabajo de los asistentes y personal en general	-Dar cumplimiento con los objetivos señalados por la dirección de área	Asistentes de área y personal en general
<b>Cuarto Nivel Asistentes y personal en general</b>	-Operar los programas de trabajo -Entrega de información a su coordinación -Elaboración de reportes específicos	-Cumplir con los objetivos señalados por su coordinador	

**Cultura organizacional:** El personal comparte la responsabilidad de mantener la organización en los primeros planos en todos sus departamentos, para llegar a ser una organización de excelencia; además, el personal cuenta con buena actitud de servicio, tiene una visión y valores compartidos, compromiso, disciplina, liderazgo y un objetivo en común.

<sup>166</sup> *Ibidem* 159

### VECTOR 3: DISEÑO DE TRANSFORMACIÓN

**Tecnología de proceso (conocimiento básico):** En el presente las energías renovables comienzan a tener auge; la energía eólica y la hidráulica se convierten en la opción más viable para la generación de electricidad mediante fuentes energéticas no contaminantes. En general, el proceso de la generación eléctrica sigue siendo similar al del pasado, sólo que es mucho menos contaminante y más eficiente. Las plantas generadoras del pasado son rediseñadas para ser utilizadas como “ciclo combinado”, en donde la planta opera mediante dos fuentes energéticas, una de ellas por lo general es el gas; con lo cual la planta generadora de electricidad se vuelve menos contaminante y más eficiente.

**Tecnología de operación (experiencia):** Cuenta con una plantilla de personal con experiencia de varios años en las distintas ramas de la industria eléctrica, así como de personal sin experiencia práctica que es capacitado. Al momento, en la mayoría de las fuentes de energía renovables sólo se cuenta con el conocimiento teórico, es decir, se tiene la teoría pero el conocimiento práctico aún incipiente.

**Tecnología de equipo:** Cuenta con equipo antiguo y contaminante, aunque lentamente se va adecuando a las necesidades futuras mediante cambios en maquinaria o en el modo de generación eléctrica de alguna planta, es decir, combinando la generación con alguna fuente de energía renovable; por lo tanto el equipo no es adecuado, ni suficiente y no está bien distribuido en todas las plantas de generación.

**Tecnología del producto:** La electricidad producida por CFE asegura el servicio eléctrico en cantidad y precio, al menos por los próximos diez años; aunque no asegura del todo ser amigable con el medio ambiente y promover el desarrollo social. Por otro lado, la calidad de la electricidad no es de lo mejor, ya que existen demasiadas interrupciones del servicio; además, la sustentabilidad del servicio eléctrico depende de una diversificación en las fuentes de energía, la cual aún no se ha logrado.

Tabla 16. Tecnología del producto

Producto	Características	Indicador
Electricidad	Cantidad	Número de personas que no cuentan con el servicio.
	Calidad	Cantidad de interrupciones del servicio.
	Precio	Comparación del costo con otros países.
	Diversificación	Cantidad de proyectos puestos en marcha o en construcción.

## B. ENTORNO

### Aspectos Internos

Tabla 17. Aspectos Internos

Fortalezas	Debilidades
1. Única empresa del país en generación y servicio eléctrico	1. Presupuesto insuficiente
2. Gran infraestructura física	2. Dependencia tecnológica
3. CFE conoce el funcionamiento y características del mercado	3. Escaso desarrollo tecnológico
4. Recurso humano especializado en la práctica en fuentes no renovables de energía	4. Poca diversificación de fuentes de energía
5. Acceso a apoyos económicos e intercambio de tecnología a nivel mundial con otras empresas mediante la modalidad de riesgo compartido.	5. Clientes insatisfechos por baja calidad del servicio
	6. Mala normatividad
	7. Liderazgo incipiente
	8. Corrupción y robo de electricidad
	9. Falta de recurso humano especializado en teoría y en la práctica, particularmente en fuentes renovables de energía
	10. Estructura orgánica deficiente
	11. No existen programas para el ahorro de electricidad
	12. Vinculación Industria – Universidad prácticamente inexistente
	13. Creación de programas energéticos para zonas rurales o en el campo: insuficientes o mal planeados.

### Entorno de la organización.

**Aspectos Económicos.** Es escasa la inversión extranjera, así como de la iniciativa privada. Existen grandes cantidades de robo de la electricidad ya que no está penado severamente o existe corrupción dentro y fuera de la empresa. Muchos de los ingresos de la empresa van dirigidos hacia su sindicato, además de que sus trabajadores están exentos del pago del servicio eléctrico.

**Aspectos Políticos.** No existen leyes que regulen específicamente a cada una de las fuentes de energía, tampoco existen bases claras para la inversión extranjera o de empresas y casas habitación que deseen ser autosustentables o que quieran vender su excedente de electricidad a CFE o a LyFC.

**Aspectos Sociales.** Los clientes de CFE no están satisfechos con el servicio obtenido debido al costo por kW/h y a las interrupciones del servicio; otro problema es la expropiación de tierras para proyectos eléctricos, ya que en la mayoría de los casos, Estado y pueblo no quedan satisfechos con los precios de los terrenos y el/los proyectos no pueden llevarse a cabo.

**Aspectos Culturales:** No existe una cultura, ni programas suficientes para el ahorro de la electricidad, sobretodo en casas habitación y en oficinas públicas.

**Aspectos relevantes del sector eléctrico.** No existe la adecuada diversificación de las fuentes de energía que den una generación de energía sustentable y menos contaminante; además de ofrecer el servicio eléctrico al menor costo posible y asegurar al mismo tiempo calidad y cantidad. El sindicato de electricistas tiene demasiado poder, lo cual no es sano para las finanzas de la empresa ni del país.

**Aspectos Tecnológicos.** No se cuenta con la infraestructura económica y académica necesaria para poder implementar tecnologías limpias para la generación de electricidad. La maquinaria en muchas de las plantas generadoras de electricidad es obsoleta y contaminante. Por leyes que fueron implantadas últimamente, su red de transmisión podrá ser utilizada para ofrecer servicios de telecomunicaciones.

**Aspectos Laborales.** Todos sus trabajadores cuentan con prestaciones de ley, forman uno de los sindicatos más fuertes del país, que influye en el rumbo de las políticas energéticas, como por ejemplo, la de la inversión extranjera; además de no pagar por el servicio eléctrico.

**Aspectos de Mercado.** La competencia por inversión privada y extranjera no tienen la magnitud para considerarla competencia. Como sus tarifas no son de las más competitivas, si se comparan con las de otros países, muchas industrias, sobre todo las ubicadas en la frontera norte importan electricidad de E.U. o se quejan constantemente del costo y de la calidad del energético.

**4.2.2 Establecimiento del modelo de los tres vectores considerando los tres estadios en el tiempo. Establecimiento del futuro deseado y de la brecha tecnológica.**

**VECTOR 1: MISIÓN**

<b>PASADO</b>	<b>PRESENTE</b>	<b>FUTURO INERCIAL</b>
<p>La Secretaría de Energía (Sener), inicia actividades a finales de 1994 y tiene como misión conducir la política energética del país, con lo que fortalece su papel como coordinadora del sector energía al ejercer los derechos de la nación sobre los recursos no renovables: petróleo y demás hidrocarburos, petroquímica básica, minerales radiactivos, aprovechamiento de los combustibles nucleares para la generación de energía nuclear, así como el manejo óptimo de los recursos materiales que se requieren para generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer la energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público; con objeto de que estas funciones estratégicas las realice el Estado, promoviendo el desarrollo económico, en la función de administrar el patrimonio de la nación y preservar nuestra soberanía nacional.</p>	<p>La Secretaría de Energía, SENER, tiene como misión conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional; por su parte la Comisión Federal de Electricidad, CFE, busca dar un servicio eficiente y de calidad, buscando proteger el medio ambiente y promover el desarrollo social, optimizando su infraestructura física y comercial.</p>	<p>La SENER en conjunto con CFE y LyFC tendrán como misiones: elevar la cobertura, calidad y competitividad de la infraestructura eléctrica aprovechando nuestra posición geográfica y su red de tratados internacionales; además aumentarán la generación de empleos permanentes e impulsarán el desarrollo sustentable diversificando las fuentes energéticas.</p>

<b>FUTURO DESEABLE</b>
<p>La misión de SENER como cabeza del sector energético del país deberá ser: conducir la política energética, dentro de un marco constitucional realista e inteligente, para poder ofrecer a la población la garantía de suministro eléctrico, que éste sea de la más alta calidad y que sea ofrecido a un precio justo; además de garantizarle el servicio al 100% de la población, protegiendo el medio ambiente y promoviendo el desarrollo social.</p>

**BRECHA TECNOLÓGICA:** Hacer cambios constitucionales en las leyes laborales, así como de generación de energía. Terminar con los favoritismo políticos y las corruptelas comenzando por los más altos niveles. Conscientizar y motivar a los trabajadores en una especie de suerte de patriotismo, creando una empresa que simbolice el nacionalismo mexicano.

Cambio en la concepción de la SENER como empresa: no debe ser solamente una productora de energía, sino una administradora de un sistema nacional de energía, que incluya a la generación privada (micro, pequeñas, medianas y grandes empresas) y a la microgeneración (generación en casas-habitación para uso propio); teniendo como principio básico la generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.

**VECTOR 2: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**

PASADO	PRESENTE	FUTURO INERCIAL
<p>La SENER, divide su accionar básicamente en: <b>Regulación</b> (permisos, contratos, convenios, etc.), <b>Apoyo</b> (apoyo técnico y de investigación) y <b>Operación</b> (generación, transmisión, distribución, comercialización), de este último campo se encargan CFE (80%) y LyFC (20%)</p>	<p>La SENER, divide su accionar básicamente en: <b>Regulación</b> (permisos, contratos, convenios, etc.), <b>Apoyo</b> (apoyo técnico y de investigación) y <b>Operación</b> (generación, transmisión, distribución, comercialización), de este último campo se encargan CFE (80%) y LyFC (20%)<sup>167</sup></p>	<p>No habrá cambios estructurales importantes dentro de la SENER y tampoco los habrá en CFE y LyFC.</p>
<p><b>División del trabajo.</b> CFE se divide básicamente en seis secciones: operación, proyectos de inversión financiada, administración, finanzas, modernización y cambio estructural, y un órgano interno de control.</p>	<p><b>División del trabajo.</b> CFE se divide básicamente en seis secciones: operación, proyectos de inversión financiada, administración, finanzas, modernización y cambio estructural, y un órgano interno de control.</p>	<p><b>División del trabajo.</b> Continuará igual.</p>

<sup>167</sup> Ídem 165

<p><b>Relaciones.</b> Cualquier decisión importante sobre proyectos deberá ser tomada en conjunto con la SENER, quien tomara la decisión final. CFE y LyFC dependen de la SENER ya que es ella quien tiene la facultad de autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica; de participar en el ajuste, modificación o reestructura de las tarifas eléctricas que fija la SHCP; de aprobar los lineamientos de sus presupuestos y por último, de aprobar las bases de licitación de nuevos proyectos de generación.</p>	<p><b>Relaciones.</b> Cualquier decisión importante sobre proyectos deberá ser tomada en conjunto con la SENER, quien tomara la decisión final. CFE y LyFC dependen de la SENER ya que es ella quien tiene la facultad de autorizar los programas y aprobar las especificaciones sobre obras e instalaciones necesarias en materia de distribución y abastecimiento de energía eléctrica; de participar en el ajuste, modificación o reestructura de las tarifas eléctricas que fija la SHCP; de aprobar los lineamientos de sus presupuestos y por último, de aprobar las bases de licitación de nuevos proyectos de generación.</p>	<p><b>Relaciones.</b> La SENER seguirá siendo la cabeza del sector eléctrico, por lo que CFE y LyFC seguirán dependiendo económicamente de ella. La inversión privada seguirá siendo escasa, así que el monopolio eléctrico continuará.</p>
<p><b>Cultura organizacional:</b> El personal comparte la responsabilidad de mantener la organización en los primeros planos en todos sus departamentos, para llegar a ser una organización de excelencia; además, el personal cuenta con buena actitud de servicio, tiene una visión y valores compartidos, compromiso, disciplina, liderazgo y un objetivo en común; aunque en ocasiones esto último se ve afectado por su sindicato.</p>	<p><b>Cultura organizacional:</b> El personal comparte la responsabilidad de mantener la organización en los primeros planos en todos sus departamentos, para llegar a ser una organización de excelencia; además, el personal cuenta con buena actitud de servicio, tiene una visión y valores compartidos, compromiso, disciplina, liderazgo y un objetivo en común; aunque en ocasiones esto último se ve afectado por su sindicato.</p>	<p><b>Cultura organizacional:</b> El personal del sector eléctrico tendrá el mismo pensamiento, así como las mismas responsabilidades hasta ahora mencionadas.</p>
<p><b>Sindicato:</b> Conforman uno de los sindicatos más fuertes del país, tiene un gran poder político dentro y fuera de la empresa y sus miembros gozan de privilegios inconstitucionales como el de no pagar por el servicio eléctrico, entre otros.</p>	<p><b>Sindicato:</b> Conforman uno de los sindicatos más fuertes del país, tiene un gran poder político dentro y fuera de la empresa y sus miembros gozan de privilegios inconstitucionales como el de no pagar por el servicio eléctrico, entre otros.</p>	<p><b>Sindicato:</b> El Sindicato seguirá siendo un obstáculo para el desarrollo eléctrico del país, tendrá más poder político y social, seguirá pidiendo mejores sueldos y mayores prestaciones de las que ya tienen sus miembros y seguirá sin aportar nada útil para el desarrollo sustentable del sector eléctrico y del país.</p>

**FUTURO DESEABLE**

La estructura orgánica de la SENER deberá ser más compacta, horizontal y dinámica para que exista una mejor comunicación en todo el sector energético. CFE deberá cotizar en bolsa, teniendo una estructura dual de acciones; es decir, una parte de las acciones que sean propiedad del gobierno y la otra en propiedad de accionistas externos, los cuáles bien podrían ser todos de origen mexicano.

**BRECHA TECNOLÓGICA:** Cambiar el esquema de una empresa paraestatal a una empresa con participación de accionistas, con un fin administrativo y regulador energético; por lo que LyFC deberá fusionarse con CFE. Para que CFE pase de ser una empresa estatal aletargada más, a una protagonista global, deberá aprender a pensar como una compañía energética internacional, pero reteniendo las fortalezas y ventajas de una empresa nacional, estudiando por ejemplo, el modelo energético de Brasil (Petrobras). CFE deberá terminar con el monopolio, permitiendo la inversión privada y cotizando en la bolsa de valores en donde el estado tuviera un 40% de las acciones y el 60% restante estuviera repartido en partes iguales entre trabajadores de la empresa y accionistas totalmente externos a ella; esto traería como consecuencia mayor transparencia en el dinero, un presupuesto mayor, mayor independencia con respecto a SENER, una junta directiva independiente del estado; así como mayor identidad trabajador-empresa, lo que resultaría en mayor eficiencia. Por otra parte, con la llegada de empresas extranjeras se elevarían las presiones competitivas y contribuirían a desatar una revolución productiva en CFE; con lo que CFE podría llegar a ser una empresa protagonista global.

**VECTOR 3: DISEÑO DE TRANSFORMACIÓN**

PASADO	PRESENTE	FUTURO INERCIAL
<p><b>Tecnología de operación (experiencia):</b>                      Cuenta con una plantilla de personal con experiencia de varios años en varias ramas de la energía eléctrica, (su conocimiento práctico es excelente, aunque su conocimiento teórico no lo sea) así como de personal sin experiencia práctica que es capacitado. Al momento, en la mayoría de las fuentes de energía renovables sólo se cuenta con el conocimiento teórico, es decir, se tiene la teoría sin la práctica.</p>	<p><b>Tecnología de operación (experiencia):</b>                      Cuenta con una plantilla de personal con experiencia de varios años en varias ramas de la energía eléctrica, (su conocimiento práctico es excelente, aunque su conocimiento teórico no lo sea) así como de personal sin experiencia práctica que es capacitado. Al momento, en la mayoría de las fuentes de energía renovables sólo se cuenta con el conocimiento teórico, es decir, se tiene la teoría sin la práctica.</p>	<p><b>Tecnología de operación (experiencia):</b> El personal continuará siendo muy bueno en la práctica, pero no tendrá los conocimientos teóricos suficientes como para asimilar otro tipo de tecnologías utilizadas actualmente en otros países para la generación de electricidad, como las energías renovables.</p>

<p><b>Tecnología de equipo:</b> Cuenta con equipo antiguo y contaminante, aunque lentamente se va adecuando a las necesidades futuras mediante cambios en maquinaria o en el modo de generación eléctrica de alguna planta, es decir, combinando la generación con alguna fuente de energía renovable; por lo tanto el equipo no es adecuado, ni suficiente y no está bien distribuido en todas las plantas de generación.</p>	<p><b>Tecnología de equipo:</b> Cuenta con equipo antiguo y contaminante, aunque lentamente se va adecuando a las necesidades futuras mediante cambios en maquinaria o en el modo de generación eléctrica de alguna planta, es decir, combinando la generación con alguna fuente de energía renovable; por lo tanto el equipo no es adecuado, ni suficiente y no está bien distribuido en todas las plantas de generación.</p>	<p><b>Tecnología de equipo:</b> Habrá cambios mínimos en el equipo utilizado en las plantas generadoras.</p>
<p><b>Tecnología del producto:</b> La electricidad producida por CFE asegura el servicio eléctrico en cantidad y precio, al menos por los próximos diez años; aunque no asegura del todo ser amigable con el medio ambiente y promover el desarrollo social. Por otro lado, la calidad de la electricidad no es de lo mejor, ya que existen demasiadas interrupciones del servicio; además la sustentabilidad del servicio eléctrico depende de una diversificación en las fuentes de energía, la cual aún no se ha dado.</p>	<p><b>Tecnología del producto:</b> La electricidad producida por CFE asegura el servicio eléctrico en cantidad y precio, al menos por los próximos diez años; aunque no asegura del todo ser amigable con el medio ambiente y promover el desarrollo social. Por otro lado, la calidad de la electricidad no es de lo mejor, ya que existen demasiadas interrupciones del servicio; además la sustentabilidad del servicio eléctrico depende de una diversificación en las fuentes de energía, la cual aún no se ha dado.</p>	<p><b>Tecnología del producto:</b> CFE tendrá problemas para asegurar el suministro del servicio eléctrico y la calidad del mismo. No podrá satisfacer la demanda nacional y frenará el desarrollo del país.</p>
<p><b>Aspectos Económicos.</b> Es escasa la inversión extranjera, así como de la iniciativa privada. Existen grandes cantidades de robo de la electricidad ya que no esta penado severamente o existe corrupción dentro y fuera de la empresa. Muchos de los ingresos de la empresa van dirigidos hacia su sindicato, además de que sus trabajadores están exentos del pago del servicio eléctrico.</p>	<p><b>Aspectos Económicos.</b> Es escasa la inversión extranjera, así como de la iniciativa privada. Existen grandes cantidades de robo de la electricidad ya que no esta penado severamente o existe corrupción dentro y fuera de la empresa. Muchos de los ingresos de la empresa van dirigidos hacia su sindicato, además de que sus trabajadores están exentos del pago del servicio eléctrico.</p>	<p><b>Aspectos Económicos.</b> Son muy significativos los problemas presupuestales para mantener en operación a la empresa.</p>

<p><b>Aspectos Políticos.</b> No existen leyes que regulen específicamente cada fuente de energía, tampoco existen bases claras para la inversión extranjera o de empresas y casas habitación que deseen ser autosustentables o que quieran vender su excedente de electricidad a CFE o a LyFC. Su plan energético va variando según intereses de la administración que se encuentre en el poder político del país.</p>	<p><b>Aspectos Políticos.</b> No existen leyes que regulen específicamente cada fuente de energía, tampoco existen bases claras para la inversión extranjera o de empresas y casas habitación que deseen ser autosustentables o que quieran vender su excedente de electricidad a CFE o a LyFC. Su plan energético va variando según intereses de la administración que se encuentre en el poder político del país.</p>	<p><b>Aspectos Políticos.</b> Continuarán los cambios en el tipo de política energética que se deba utilizar en el país por las constantes diferencias entre partidos políticos.</p>
<p><b>Aspectos Sociales.</b> Los clientes de CFE no están satisfechos con el servicio obtenido debido al costo por kW/h y a las interrupciones del servicio; otro problema es la expropiación de tierras para proyectos eléctricos, ya que no existen leyes claras para el pago de tierras por lo que el/los proyectos no pueden llevarse a cabo.</p>	<p><b>Aspectos Sociales.</b> Los clientes de CFE no están satisfechos con el servicio obtenido debido al costo por kW/h y a las interrupciones del servicio; otro problema es la expropiación de tierras para proyectos eléctricos, ya que no existen leyes claras para el pago de tierras por lo que el/los proyectos no pueden llevarse a cabo.</p>	<p><b>Aspectos Sociales.</b> CFE tendrá seguramente problemas por sus políticas internas y externas; así como con los altos precios de sus tarifas eléctricas, por su pésimo servicio al cliente y por la calidad del servicio.</p>
<p><b>Aspectos Culturales:</b> No existe una cultura, ni programas para el ahorro de la electricidad sobretodo en casas habitación y en oficinas públicas y tampoco para el uso de fuentes renovables de energía para la autosustentabilidad en casas-habitación.</p>	<p><b>Aspectos Culturales:</b> No existe una cultura, ni programas para el ahorro de la electricidad sobretodo en casas habitación y en oficinas públicas y tampoco para el uso de fuentes renovables de energía para la autosustentabilidad en casas-habitación.</p>	<p><b>Aspectos Culturales:</b> Tendrá los mismos problemas de despilfarro de la electricidad, sobretodo en oficinas públicas.</p>
<p><b>Aspectos relevantes del sector eléctrico.</b> No existe la adecuada diversificación de las fuentes de energía que den una generación de energía sustentable y menos contaminante; además de ofrecer el servicio eléctrico al menor costo posible y asegurar al mismo tiempo calidad y cantidad. El sindicato de electricistas tiene demasiado poder, lo cual no es sano para las finanzas de la empresa ni del país.</p>	<p><b>Aspectos relevantes del sector eléctrico.</b> No existe la adecuada diversificación de las fuentes de energía que den una generación de energía sustentable y menos contaminante; además de ofrecer el servicio eléctrico al menor costo posible y asegurar al mismo tiempo calidad y cantidad. El sindicato de electricistas tiene demasiado poder, lo cual no es sano para las finanzas de la empresa ni del país.</p>	<p><b>Aspectos relevantes del sector eléctrico.</b> No habrá cambios significativos.</p>

<p><b>Aspectos Tecnológicos.</b> No se cuenta con la infraestructura económica y académica necesaria para poder implementar tecnologías limpias para la generación de electricidad. La maquinaria en muchas de las plantas generadoras de electricidad son viejas y contaminantes. Aunque, por leyes que fueron implantadas últimamente, su red de transmisión podrá ser utilizada para ofrecer servicios de telecomunicaciones y así obtener mayores ganancias.</p>	<p><b>Aspectos Tecnológicos.</b> No se cuenta con la infraestructura económica y académica necesaria para poder implementar tecnologías limpias para la generación de electricidad. La maquinaria en muchas de las plantas generadoras de electricidad son viejas y contaminantes. Aunque, por leyes que fueron implantadas últimamente, su red de transmisión podrá ser utilizada para ofrecer servicios de telecomunicaciones y así obtener mayores ganancias. CFE está ubicada en infraestructura física en el sitio 14 en América latina y en el 73 a nivel mundial.<sup>168</sup></p>	<p><b>Aspectos Tecnológicos.</b> La obsolescencia de los equipos provocan altos costos de operación y fuerte impacto ambiental.</p>
<p><b>Aspectos Laborales.</b> Todos sus trabajadores cuentan con prestaciones de ley, forman uno de los sindicatos más fuertes del país, el cuál lleva el rumbo de las políticas energéticas como por ejemplo la de la inversión extranjera, además de que sus socios no pagan por el servicio eléctrico.</p>	<p><b>Aspectos Laborales.</b> Todos sus trabajadores cuentan con prestaciones de ley, forman uno de los sindicatos más fuertes del país, el cuál lleva el rumbo de las políticas energéticas como por ejemplo la de la inversión extranjera, además de que sus socios no pagan por el servicio eléctrico.</p>	<p><b>Aspectos Laborales.</b> Fuertes presiones particularmente originados por aspectos de jubilaciones y fondos de retiro.</p>
<p><b>Aspectos de Mercado.</b> No existe competencia para CFE ni LyFC ya que no se permite la producción de energía eléctrica por parte de extranjeros en nuestro país. Como sus tarifas no son de las más competitivas, si se comparan con las de otros países, muchas industrias, sobretodo las ubicadas en la frontera norte importan electricidad de E.U. o se quejan constantemente del costo y de la calidad del energético.</p>	<p><b>Aspectos de Mercado.</b> No existe competencia para CFE ni LyFC ya que no se permite la producción de energía eléctrica por parte de extranjeros en nuestro país. Como sus tarifas no son de las más competitivas, si se comparan con las de otros países, muchas industrias, sobretodo las ubicadas en la frontera norte importan electricidad de E.U. o se quejan constantemente del costo y de la calidad del energético.</p>	<p><b>Aspectos de Mercado.</b> Demanda doméstica e industrial creciente y poca capacidad de generación.</p>

<sup>168</sup> Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012.

**FUTURO DESEABLE**

La tecnología de la infraestructura será de las mejores de América, se contará con una industria de las energías renovables propia, el equipo utilizado para la generación eléctrica será el menos contaminante posible, la mayoría será diseñado para energías renovables, estará bien distribuido, será suficiente y adecuado. El desarrollo social y el medio ambiente será dos de los puntos más importantes para la generación eléctrica, por lo que la *integración tecnológica* de las empresas será mínimo del 80%. El sindicato de electricistas aunque seguirá siendo *independiente* a la empresa, tendrá los mismos objetivos que ésta. Existirá una cultura del ahorro de la electricidad y del cuidado del medio ambiente, con lo que la mayoría de la población buscará ser autosuficiente energéticamente y aumentará el mercado de las energías limpias en micros, pequeñas, medianas y grandes empresas. Aumentará sustancial y continuamente la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, utilizando en la planificación márgenes de reserva del 25 por ciento.

**BRECHA TECNOLÓGICA:** Aumentar las inversiones en el desarrollo tecnológico, así como diversificar el uso de fuentes de energía utilizadas para la generación eléctrica y ser una empresa preocupada por el medio ambiente y por el desarrollo social del país. A partir de las estrategias formuladas, la CFE es capaz de realizar investigación de punta cuyo producto principal será generar patentes tecnológicas que podrá liberar al mercado para que empresas nacionales (en el mejor de los casos) o extranjeras comercialicen los productos. Para lograr esto deberán desarrollarse estrategias de asimilación de tecnología y una importante vinculación con las instituciones de educación superior y el sistema nacional de investigadores.

## RESUMEN

VECTORES	FUTURO DESEABLE	BRECHA
<b>VECTOR 1: MISION</b>	La misión de SENER como cabeza del sector energético del país deberá ser: conducir la política energética, dentro de un marco constitucional realista e inteligente, para poder ofrecer a la población la garantía de suministro eléctrico, que éste sea de la más alta calidad y que sea ofrecido a un precio justo; además de garantizarle el servicio al 100% de la población, protegiendo el medio ambiente y promoviendo el desarrollo social.	Hacer cambios constitucionales en las leyes laborales, así como de generación de energía. Terminar con los favoritismo políticos y las corruptelas comenzando por los más altos niveles. Conscientizar y motivar a los trabajadores en una especie de suerte de patriotismo, creando una empresa que simbolice el nacionalismo mexicano.
<b>VECTOR 2: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL</b>	La estructura orgánica de la SENER deberá ser más compacta, horizontal y dinámica para que exista una mejor comunicación en todo el sector energético. CFE deberá cotizar en bolsa, teniendo una estructura dual de acciones; es decir, una parte de las acciones que sean propiedad del gobierno y la otra en propiedad de accionistas externos, los cuáles bien podrían ser todos de origen mexicano.	Cambiar el esquema de una empresa paraestatal a una empresa con participación de accionistas, con un fin administrativo y regulador energético; por lo que LyFC deberá fusionarse con CFE. Para que CFE pase de ser una empresa estatal aletargada más, a una protagonista global, deberá aprender a pensar como una compañía energética internacional, pero reteniendo las fortalezas y ventajas de una empresa nacional, estudiando por ejemplo, el modelo energético de Brasil (Petrobras). CFE deberá terminar con el monopolio, permitiendo la inversión privada y cotizando en la bolsa de valores en donde el estado tuviera un 40% de las acciones y el 60% restante estuviera repartido en partes iguales entre trabajadores de la empresa y accionistas totalmente externos a ella; esto traería como consecuencia mayor transparencia en el dinero, un presupuesto mayor, mayor independencia con respecto a SENER, una junta directiva independiente del estado; así como mayor identidad trabajador-empresa, lo que resultaría en mayor eficiencia. Por otra parte, con la llegada de empresas extranjeras se elevarían las presiones competitivas y contribuirían a desatar una revolución productiva en CFE; con lo que CFE podría llegar a ser una empresa protagonista global.

<p><b>VECTOR 3: DISEÑO DE TRANSFORMACIÓN</b></p>	<p>La tecnología de la infraestructura será de las mejores de América, se contará con una industria de las energías renovables propia, el equipo utilizado para la generación eléctrica será el menos contaminante posible, la mayoría será diseñado para energías renovables, estará bien distribuido, será suficiente y adecuado. El desarrollo social y el medio ambiente será dos de los puntos más importantes para la generación eléctrica, por lo que la <i>integración tecnológica</i> de las empresas será mínimo del 80%. El sindicato de electricistas aunque seguirá siendo <i>independiente</i> a la empresa, tendrá los mismos objetivos que ésta. Existirá una cultura del ahorro de la electricidad y del cuidado del medio ambiente, con lo que la mayoría de la población buscará ser autosuficiente energéticamente y aumentará el mercado de las energías limpias en micros, pequeñas, medianas y grandes empresas. Aumentará sustancial y continuamente la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, utilizando en la planificación márgenes de reserva del 25 por ciento.</p>	<p>Aumentar las inversiones en el desarrollo tecnológico, así como diversificar el uso de fuentes de energía utilizadas para la generación eléctrica y ser una empresa preocupada por el medio ambiente y por el desarrollo social del país. A partir de las estrategias formuladas, la CFE es capaz de realizar investigación de punta cuyo producto principal será generar patentes tecnológicas que podrá liberar al mercado para que empresas nacionales (en el mejor de los casos) o extranjeras comercialicen los productos. Para lograr esto deberán desarrollarse estrategias de asimilación de tecnología y una importante vinculación con las instituciones de educación superior y el sistema nacional de investigadores.</p>
--	--	--

### 4.2.3 Estudio PEST y matriz FODA

Cuando las organizaciones realizan los procesos estratégicos ponen a disposición de los analistas tecnológicos toda la información pertinente y permiten la realización de ejercicios de planeación para detección de problemas que a su vez permitan la conformación de una matriz FODA.

Son múltiples los ejercicios para la detección de problemas. En su gran mayoría, son clasificados como Técnicas Heurísticas. Estas técnicas consisten en instrumentos tan sencillos como pueden ser cuestionarios elaborados con ítems muy generales sobre un tema común hasta técnicas participativas como lo son las conferencias de búsqueda. Ejercicios no muy complejos y sencillos de conducir son la lluvia de ideas, los TKJ<sup>169</sup> o los procesos de planeación denominada Análisis Causa-Efecto.<sup>170</sup>

En estos ejercicios debe haber participación activa y honesta de miembros de cada uno de los estratos de la organización (incluso externos a ella) que posean experiencia en su ámbito. Cada uno de estos participantes, dirigidos por un facilitador expresan en forma clara y no ambigua las que consideran son fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades. A partir de esta información es factible a través de un diagrama clasificar y priorizar las respuestas logrando así los elementos necesarios para construir la matriz FODA.

En este caso, por la naturaleza del trabajo, y habiendo hecho las consultas necesarias, no resultó posible conjuntar un equipo con elementos de todos los sectores de la SENER y CFE, mucho menos con funcionarios de alto nivel. No obstante, la forma de subsanar esta situación fue que, a partir de la investigación documental que sustenta este trabajo, se realizó una clasificación y priorización de fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades que son citadas en la literatura consultada, procurando en todo momento balancear diferentes puntos de vista y tendencias de pensamiento.

Por otra parte, para la identificación del entorno, a partir de las mismas fuentes utilizadas para la conformación de la matriz FODA, se realizó un análisis PEST, cuyo fin es el de evaluar el mercado en que se incrusta la organización. Resulta importante establecer que el análisis PEST se realizó antes de la matriz FODA, ya que permite identificar factores útiles para la FODA; ambos ejercicios suelen tener áreas comunes pero tienen perspectivas distintas<sup>171</sup>.

---

<sup>169</sup> [www.fi-p.unam.mx/simposio\\_investigacion2dc04/una\\_metodologia.html](http://www.fi-p.unam.mx/simposio_investigacion2dc04/una_metodologia.html)

<sup>170</sup> Sánchez Guerrero, Gabriel. *Un marco teórico para la evaluación*. 2da reimpresión. México. UNAM, Facultad de Ingeniería. 1995. 29 p. Cuadernos de Planeación y Sistemas, número 8.

<sup>171</sup> [www.degerencia.com/articulos.php?artid=1046](http://www.degerencia.com/articulos.php?artid=1046)

### 4.3 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE OPORTUNIDADES Y AMENAZAS

Tabla 18. Oportunidades y Amenazas

Oportunidades	Amenazas
1. Se cuenta con uno de los mejores recursos de energéticos renovables del mundo en hidráulica, biomasa, geotermia, eólica y fotovoltaica	1. La falta de energía frenará el desarrollo del país.
2. Recursos adicionales de dinero por servicios de telecomunicaciones	2. Extinción del petróleo
3. A tiempo para diversificar las fuentes energéticas	3. Cambio climático
4. Apertura del mercado para las energías renovables	4. Entorno político incierto
5. CFE tiene en la UNAM apoyo académico y tecnológico de excelencia.	5. Corrupción
6. Infraestructura industrial del país suficiente para desarrollar cualquier tipo de proyecto	6. Control político del sindicato de trabajadores
7. Cumplimiento con tratados internacionales	7. Atraso tecnológico de mínimo 10 años en promedio
8. Es posible vincular la industria de la construcción con la de los energéticos para crear “viviendas ecológicas” mediante la instalación de aerogeneradores y celdas fotovoltaicas.	8. Escasa inversión por parte de industrias en “energías limpias”
9. Creación de nuevas fuentes de trabajo	9. Falta de recurso humano especializado en “energías limpias”
10. Actualización de su estructura tecnológica	10. Falta de una planeación rural para una más económica distribución de la electricidad.
11. Participa en la industria mundial del mercado.	11. Constantes críticas de industriales sobre sus tarifas, impidiendo así mayor inversión extranjera.
	12. Población e industria centralizada
	13. Escaso desarrollo económico-social-cultural en zonas rurales
	14. El 3% de la población no cuenta con el servicio eléctrico <sup>172</sup>

<sup>172</sup> Ibidem 164

#### 4.4 ESCENARIO INTEGRAL

Tabla 19. Escenario integral

<p style="text-align: center;"><b>Fortalezas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Única empresa del país en generación y servicio eléctrico.</li> <li>2. Gran infraestructura física.</li> <li>3. CFE conoce el funcionamiento y características del mercado.</li> <li>4. Recurso humano especializado en la práctica en fuentes no renovables de energía.</li> <li>5. Acceso a apoyos económicos e intercambio de tecnología a nivel mundial con otras empresas mediante la modalidad de riesgo compartido.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Debilidades</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presupuesto insuficiente.</li> <li>2. Dependencia tecnológica.</li> <li>3. Escaso desarrollo tecnológico.</li> <li>4. Poca diversificación de fuentes de energía.</li> <li>5. Clientes insatisfechos por baja calidad del servicio.</li> <li>6. Mala normatividad.</li> <li>7. Liderazgo incipiente.</li> <li>8. Corrupción y robo de electricidad.</li> <li>9. Falta de recurso humano especializado en teoría y en la práctica, particularmente en fuentes renovables de energía.</li> <li>10. Estructura orgánica deficiente.</li> <li>11. No existen programas para ahorro.</li> <li>12. Vinculación CFE - Industria - Universidad prácticamente inexistente.</li> <li>13. Creación de programas energéticos para zonas rurales o en el campo: insuficientes o mal planeados.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se cuenta con algunos de los mejores recursos de energéticos renovables del mundo en hidráulica, biomasa, geotermia, eólica y fotovoltaica.</li> <li>2. Entradas de dinero por servicios de telecomunicaciones.</li> <li>3. A tiempo para diversificar las fuentes energéticas.</li> <li>4. Apertura del mercado para las energías renovables.</li> <li>5. CFE tiene en la UNAM apoyo académico y tecnológico de excelencia.</li> <li>6. Infraestructura industrial del país suficiente para desarrollar cualquier tipo de proyecto.</li> <li>7. Cumplimiento con tratados internacionales.</li> <li>8. Es posible vincular la industria de la construcción con la de los energéticos para crear “viviendas ecológicas” mediante la instalación de aerogeneradores y celdas fotovoltaicas.</li> <li>9. Creación de nuevas fuentes de trabajo.</li> <li>10. Actualización de su estructura tecnológica.</li> <li>11. Participa en la industria mundial del mercado.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Amenazas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La falta de energía frenará el desarrollo del país.</li> <li>2. Extinción del petróleo.</li> <li>3. Cambio climático.</li> <li>4. Entorno político incierto.</li> <li>5. Corrupción.</li> <li>6. Control político del sindicato de trabajadores.</li> <li>7. Atraso tecnológico de mínimo 10 años en promedio.</li> <li>8. Escasa inversión por parte de industrias en “energías limpias”.</li> <li>9. Falta de recurso humano especializado en “energías limpias”.</li> <li>10. Falta de una planeación rural para una más económica distribución de la electricidad.</li> <li>11. Constantes críticas de industriales sobre sus tarifas, impidiendo así mayor inversión extranjera.</li> <li>12. Población e industria centralizada.</li> <li>13. El 3% de la población no cuenta con el servicio eléctrico.</li> </ol>

4.5 ESTRATEGIAS FODA

Tabla 20. Matriz FODA

<p style="text-align: center;"><b>FORTALEZAS DEBILIDADES</b></p> <p style="text-align: center;"><b>OPORTUNIDADES AMENAZAS</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fortalezas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Única empresa del país en generación y servicio eléctrico.</li> <li>2. Gran infraestructura física.</li> <li>3. CFE conoce el funcionamiento y características del mercado.</li> <li>4. Recurso humano especializado en la práctica en fuentes no renovables de energía.</li> <li>5. Acceso a apoyos económicos e intercambio de tecnología a nivel mundial con otras empresas mediante la modalidad de riesgo compartido.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Debilidades</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presupuesto insuficiente.</li> <li>2. Dependencia tecnológica.</li> <li>3. Escaso desarrollo tecnológico.</li> <li>4. Poca diversificación de fuentes de energía.</li> <li>5. Clientes insatisfechos por baja calidad del servicio.</li> <li>6. Mala normatividad.</li> <li>7. Tarifas eléctricas altas.</li> <li>8. Liderazgo tecnológico incipiente.</li> <li>9. Corrupción y robo de electricidad.</li> <li>10. Falta de recurso humano especializado en teoría y en la práctica, particularmente en fuentes renovables de energía.</li> <li>11. Estructura orgánica deficiente.</li> <li>12. No existen programas para ahorro.</li> <li>13. Vinculación CFE - Industria - Universidad prácticamente inexistente.</li> <li>14. Creación de programas energéticos para zonas rurales o en el campo: insuficientes o mal planeados.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se cuenta con algunos de los mejores recursos de energéticos renovables del mundo en hidráulica, biomasa, geotermia, eólica y fotovoltaica.</li> <li>2. Entradas de dinero por servicios de telecomunicaciones.</li> <li>3. A tiempo para diversificar las fuentes energéticas.</li> <li>4. Apertura del mercado para las energías renovables.</li> <li>5. CFE tiene en la UNAM apoyo académico y tecnológico de excelencia.</li> <li>6. Infraestructura industrial del país suficiente para desarrollar cualquier tipo de proyecto.</li> <li>7. Cumplimiento con tratados internacionales.</li> <li>8. Es posible vincular la industria de la construcción con la de los energéticos para crear "viviendas ecológicas" mediante la instalación de aerogeneradores y celdas fotovoltaicas.</li> <li>9. Creación de nuevas fuentes de trabajo.</li> <li>10. Actualización de su estructura tecnológica.</li> <li>11. Participa en la industria mundial del mercado.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Estrategias, FO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Transformación y diversificación energética (F1-F5, O1-O11)</b></li> <li>2. <b>Desarrollo tecnológico propio (F1-F5,O1-O11)</b></li> <li>3. <b>Creación de un nuevo paradigma de generación energética (F1-F5,O1-O11)</b></li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Debe garantizar:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FD Vector 1, Vector 2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FD Vector 2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FD Vector 1, Vector 2, Vector 3</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Amenazas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La falta de energía frenará el desarrollo del país.</li> <li>2. Extinción del petróleo.</li> <li>3. Cambio climático.</li> <li>4. Entorno político incierto.</li> <li>5. Corrupción.</li> <li>6. Control político del sindicato de trabajadores.</li> <li>7. Atraso tecnológico de mínimo 10 años en promedio.</li> <li>8. Escasa inversión por parte de industrias en "energías limpias".</li> <li>9. Falta de recurso humano especializado en "energías limpias".</li> <li>10. Falta de una planeación rural para una más económica distribución de la electricidad.</li> <li>11. Constantes críticas de industriales sobre sus tarifas, impidiendo así mayor inversión extranjera.</li> <li>12. Población e industria centralizada.</li> <li>13. El 3% de la población no cuenta con el servicio eléctrico.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Debe garantizar:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FD Vector 1, Vectro 2, Vector 3</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FD Vector 1, Vector 2, Vector3</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Estrategias, DA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Fundación de una nueva entidad energética mexicana (D1-D14,A1-A13)</b></li> <li>2. <b>Proceso de asimilación tecnológica (D1-D14,A1-A13)</b></li> </ol>

## 4.6 GRADOS DE ASIMILACIÓN TECNOLÓGICA

**ESTRATEGIA:** Desarrollo de proyectos de energías renovables con tecnología propia mínimo en un 80%.

Grado de asimilación	Definición	Propuesta
<p><b>Dependencia completa (3 años)</b></p>	<p>Se desconoce el producto y el proceso. Las decisiones están en manos del propietario de la tecnología.</p>	<p>1. La existencia de leyes y reglamentos específicos para fomento de las fuentes de energía renovable.  2. Apoyo gubernamental para investigación y desarrollo tecnológico, así como firma de contratos de licencia por parte de CFE para asimilar la tecnología o cláusulas contractuales en donde CFE se comprometa a comprar cierta cantidad de maquinaria (tecnología) a una empresa líder en el ramo, a cambio de que dicha empresa capacite a personal mexicano para el mantenimiento de dicha maquinaria.  3. Proyectar el diseño y fabricación de aerogeneradores de pequeñas dimensiones y poca generación (600 a 6000 W), así como de un prototipo de mayor capacidad y dimensiones (1.5 MW) apoyándose en el personal capacitado anteriormente por la compañía eoloeléctrica extranjera.</p>
<p><b>Dependencia relativa (3 años)</b></p>	<p>Hay experiencia en producir el producto. Las decisiones locales se limitan a nivel de pregunta o sugerencia con base en criterios propios. No se conoce la flexibilidad del proceso.</p>	<p>1. CFE deberá cotizar en bolsa de valores, permitiendo la inversión extranjera para tener otra entrada de asimilación tecnológica; por ejemplo podría asociarse con alguna empresa extranjera líder en el campo de la energía eólica en la <i>modalidad de riesgo compartido</i>, permitiéndole a dicha empresa generar electricidad en nuestro país a cambio de asimilación tecnológica, teniendo como opción, después de cierto tiempo, utilizar su tecnología sin restricciones para la consolidación de la industria eólica mexicana.  2. Iniciar la comercialización de aerogeneradores de poca capacidad de generación para la población en general:  <b>a)</b> Aerogeneradores con capacidad de generación de 600 W, 2 hélices, 2 metros de diámetro de rotor, peso de 46 Kg. y funcionando a una velocidad de arranque de 3.5 m/s, alcanzando potencia nominal a 11 m/s y frenando a 13 m/s. Útil para: consumo doméstico y bombeo de agua. Consumidores: dueños de pequeñas viviendas y alumbrado.</p>

		<p><b>b)</b> Aerogeneradores con capacidades de 1500 y 3000 W, 2 hélices, 2.7 y 3.7 metros de diámetro de rotor y con pesos entre 50 y 150 Kg. respectivamente. Funcionando a velocidad de arranque de 3.5 m/s, alcanzando potencia nominal a 12 m/s y frenando a 14 m/s. Útil para: consumo doméstico, bombeo de agua, conexión a red. Consumidores: viviendas, alumbrado y pequeñas granjas.</p> <p><b>c)</b> Por último, aerogeneradores de 6000 W, 3 hélices, 3.7 metros de diámetro de rotor, con un peso de 200 Kg., con velocidad de arranque de 3.5 m/s, alcanzando potencia nominal a 12 m/s y frenando a 15 m/s. Útil para: consumos domésticos, bombeo de agua, conexión a red. Consumidores: viviendas, pequeñas granjas, alumbrado y pequeñas industrias.</p> <p><b>3.</b> Fabricación y puesta en marcha de un prototipo de aerogenerador con capacidad de generación de 1.2 MW y 60 metros de diámetro.</p> <p><b>4.</b> Apoyo público: población bien informada sobre los beneficios de adquirir tecnología eólica mexicana y de ser autosuficientes; con lo que se ampliaría el panorama comercial de la industria eólica.</p>
<p><b>Creatividad incipiente (3 años)</b></p>	<p>Se inician adaptaciones y sustituciones en materias primas, diseño y especificaciones mínimas adecuadas. Cualquier modificación requiere de la participación del licenciador.</p>	<p><b>1.</b> La industria eólica mexicana hará adaptaciones y mejoras en sus diseños basándose en desarrollos propios y en sus competidores, a los cuáles estudiará y sacará de ellos ideas para mejorar los propios.</p> <p><b>2.</b> CFE dará a sus trabajadores parte de sus acciones(20%) para que el servicio, su calidad, así como la imagen de la empresa aumenten considerable y continuamente.</p> <p><b>3.</b> Posicionar a la industria eólica mexicana (y a su socio extranjero) como líder en el mercado nacional mediante una <i>integración</i> del 60% como mínimo en la fabricación de aerogeneradores dirigidos a la población, para bajar costos y ser más competitivos en el mercado.</p>

<p><b>No dependencia (3 años)</b></p>	<p>Se empieza a capitalizar el cambio menor. La mejora evolutiva y la curva del aprendizaje, basándose en la operación de la misma planta.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La industria eólica mexicana comenzará a ser independiente tecnológica y financieramente, por lo que terminará contratos (o no los renovará) con industrias eólicas extranjeras; con ello iniciará la competencia por el mercado nacional entre la industria eólica mexicana y la extranjera.</li> <li>2. Las importaciones de insumos y maquinaria para la fabricación de aerogeneradores, se reducirá paulatinamente hasta llegar a tener una industria eólica autosuficiente (<i>integración</i>) en un 80% como mínimo, con lo que se podrá aumentar competitividad.</li> <li>3. Se crearán alianzas estratégicas con países latinoamericanos para exportar tecnología eólica mexicana, ofreciendo calidad, mantenimiento, servicio y precio competitivo.</li> </ol>
<p><b>Autosuficiencia (3 años)</b></p>	<p>Se generan productos y procesos nuevos por extrapolación. Se puede competir con el licenciario en nuestro mercado, sin necesidad de protección contra las importaciones. No hay dependencia de un solo proveedor de materia prima, equipo, refacciones o servicio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se aprovecharán las ventajas que tiene una empresa en donde el gobierno es dueño de una parte de ella, para apoderarse del mercado nacional en al menos un 70%.</li> <li>2. Crear o afiliar a empresas o industrias mexicanas para proveer de materias primas, refacciones o de diversos elementos que conforman un parque eólico o un aerogenerador tales como: generadores, transformadores, subestaciones, cables de alta y baja tensión, torres, controles, sistemas de medición, aisladores eléctricos, etc., teniendo a varios proveedores para evitar la dependencia, aumentar empleos y el desarrollo social del país.</li> <li>3. Mantenerse como líder nacional en calidad, servicio y precio; así como acrecentar exportaciones invirtiendo parte de sus ganancias anuales en proyectos comerciales, proyectos demostrativos y proyectos de innovación tecnológica.</li> </ol>
<p><b>Excelencia (3 años)</b></p>	<p>Se tienen procesos que optimizan el uso de los recursos propios en forma totalmente competitiva. Se domina el mercado y se tiene una fuerte posición de negociación con proveedores.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollo de diseños propios mediante la construcción de centros de investigación y desarrollo en energía eólica con apoyo de la vinculación ya existente entre la Industria Eólica Mexicana-Gobierno-Instituciones de Educación Superior.</li> <li>2. Integración nacional de la Industria Eólica Mexicana al 100% para aumentar ventaja con respecto a los demás fabricantes, en precio y calidad.</li> </ol>

## 4.7 ESTRATEGIAS

Las estrategias siguientes fueron escritas de acuerdo a su prioridad.

### 4.7.1 Estrategias, DA a partir de la interrelación debilidades-amenazas

#### **Estrategia 1: Fundación de una nueva entidad energética mexicana.**

Programa: Adecuación del marco legal.

Objetivos:

- Adecuar el marco legal para crear una nueva empresa energética nacional, permitiendo la participación directa privada (nacional y extranjera) a través de actividad bursátil.
- Integrar a los trabajadores como parte de la empresa a través de un sistema basado en méritos.

Meta: Tener una empresa energética nacional tecnológica y económicamente autosustentable.

#### **Estrategia 2: Proceso de asimilación tecnológica.**

Programa: Independencia tecnológica.

Objetivos:

- Fortalecer la vinculación Industria-Gobierno-Instituciones de Educación Superior.
- Crear una industria dedicada al desarrollo de las energías renovables, aumentando empleos y desarrollo tecnológico, a través de las siguientes acciones:
  - Detectar la tecnología disponible en el mercado que pudiera resultar la apropiada de acuerdo a las necesidades nacionales.
  - Establecer convenio con los fabricantes para incluir personal que inicie el proceso de asimilación.
  - Establecer convenios con las Instituciones de Educación Superior dando prioridad a los procesos de vinculación para establecer mecanismos permanentes de I + D.
  - Iniciar el proceso de asimilación de acuerdo a los tiempos establecidos desde la dependencia hasta la excelencia, aproximadamente 20 años.

- Crear una industria nacional dedicada al desarrollo de las energías renovables, en especial a la energía eólica.
- Mantener procesos y productos en constante optimización para competir a nivel mundial.

Meta: Establecer un proceso permanente de asimilación tecnológica.

#### **4.7.2 Estrategias, FO a partir de la interrelación fortalezas-oportunidades.**

##### **Estrategia 3: Transformación y diversificación energética.**

Programa: Sustentabilidad energética y económica del país.

Objetivo: Garantizar el abasto de energía que requiere el país para su desarrollo sin ocasionar daños al medio ambiente.

Metas: Convertir al menos el 50% de plantas de generación para utilizar energías limpias invirtiendo los porcentajes de generación actual.

##### **Estrategia 4: Desarrollo tecnológico propio.**

Programa: Generación de energía limpia.

Objetivos:

- Realizar proyectos energéticos limpios con tecnología propia a través de asimilación tecnológica.
- Optimizar recursos humanos, naturales y de infraestructura.

Metas: El nivel de integración de tecnología propia es del 80%.

##### **Estrategia 5: Creación de un nuevo paradigma de generación energética.**

Programa: Generación local

Objetivos:

- Generación local de energías limpias aprovechando los recursos naturales de la región.

- Crear sistemas domésticos de generación interconectados a la red de distribución de tal forma que pudieran venderse los excedentes para ser consumidos en otras áreas.
- Establecer mecanismos que permitan a las industrias ahorrar a través de generación propia (cogeneración)

Metas:

- Establecer sistemas de generación local particularmente en la mayoría de las zonas alejadas o de difícil acceso.
- Promover la instalación de sistemas de generación local en núcleos urbanos, en al menos un 50% de la población.

#### **4.8 IMPLANTACIÓN DE LA ESTRATEGIA**

A lo largo de los últimos años se han producido importantes cambios en la forma de dirigir las empresas, no sólo desde el punto de vista estratégico sino también si tenemos en cuenta la gestión global de las organizaciones. Actualmente, uno de los valores más importantes de las empresas son las personas, ya que son quienes constituyen el único recurso que puede garantizar a la organización una ventaja competitiva sostenible en el tiempo (diferenciándola de la competencia y aportando, a través de ella, un valor añadido a los clientes, proveedores, etc.).

Hoy el capital humano representa el principal valor para una empresa, por ello no sólo empresas dedicadas a ofrecer servicios tratan de formar en su personal una cultura laboral en la que los empleados se sientan parte de la empresa para la que laboran, sino que también, empresas productivas, grandes y pequeñas, comienzan a introducir prácticas orientadas a desarrollar el potencial de su personal, ya sea en la mejora de sus conocimientos, sus competencias, su dedicación o implicación con la organización, etc.; por lo que hoy, el capital humano de las empresas actúa como un factor diferencial, superior o igual al que aporta la tecnología u otros factores tangibles o tradicionales. Por ello este capital humano conforma la parte más importante para la implantación exitosa de una estrategia.

La implantación de la estrategia es básicamente una actividad administrativa interna, mientras que la creación de la estrategia es principalmente una actividad empresarial, por lo que, para implantar con éxito una estrategia se debe trabajar en un ambiente bien organizado y motivar al personal, para así desarrollar una cultura y ajustes entre la estrategia y el modo de operar de la organización.

La implantación de la estrategia implica convertir el plan estratégico en acciones y después en resultados. La implantación tiene éxito si la compañía logra sus objetivos estratégicos y los niveles planeados de rendimiento financiero. Lo que contribuye a que este proceso sea tan exigente es la extensa gama de actividades gerenciales que hay que atender, las muchas maneras por medio de las cuales pueden los directivos abordar cada actividad, la habilidad que se necesita para que se lance una variedad de iniciativas y éstas funcionen, y la renuencia al cambio que se tiene que superar.

Cada situación de implantación de la estrategia es tan especial que requiere su propio programa de acciones específico. La estrategia se debe implantar de manera que se ajuste a la situación de la organización. Los directivos deben considerar la naturaleza de la estrategia (es diferente implantar una estrategia para convertirse en productor de bajo costo que implantar una estrategia de diferenciación dirigida a obtener calidad superior y precios especiales, como es el caso particular del Sistema Eléctrico Mexicano). También deben tomar en cuenta la cantidad de cambio estratégico que se necesita (cambiar hacia una nueva estrategia audaz presenta más problema de implantación que hacer pequeños cambios en la estrategia existente).

Los detalles de la implantación de la estrategia son específicos de cada situación, pero se tienen que cubrir ciertas bases administrativas sin importar cuál sea la situación de la organización. La tabla 21 muestra las principales tareas administrativas que surgen en el proceso de implantación de la estrategia. Dependiendo de las circunstancias de la organización, algunas de estas tareas serán más importantes y tomarán más tiempo que otras. Para diseñar un programa de acciones, los directivos tienen que determinar cuáles son las condiciones internas necesarias para ejecutar con éxito la estrategia y después crear estas condiciones tan rápidamente como resulte práctico.

La clave de la implantación exitosa es la unión de toda la organización apoyando la estrategia y la seguridad de que todas las actividades y tareas administrativas importantes se hagan de manera tal que cumplan con los requisitos para la ejecución de una estrategia de primer orden y que junto con el entusiasmo y el compromiso estratégico, se tenga un esfuerzo gerencial para crear una serie de “ajustes” que apoyen la estrategia. La estructura interna de la organización debe ajustarse a la estrategia. Se deben desarrollar las habilidades y capacidades necesarias en la organización. La asignación de presupuestos y de recursos debe apoyar la estrategia, y se debe proporcionar personal y presupuestos a los departamentos para que efectúen sus funciones estratégicas asignadas. La estructura de recompensas, las políticas, el sistema de información y las prácticas operativas de la compañía necesitan reforzar el impulso para ejecutar con efectividad una estrategia, en contraposición a tener un papel pasivo o, peor aún, a actuar como obstáculo. Igualmente importante es el hecho de que los gerentes deben hacer las cosas de tal manera y estilo que se cree y fomente un ambiente de trabajo que apoye la estrategia y una cultura corporativa. Cuanto más fuertes sean los ajustes en apoyo de la estrategia que se creen a nivel interno, mayores serán las oportunidades de lograr una implantación con éxito.

Las personas con mayor responsabilidad para que la estrategia sea implantada con éxito son el director ejecutivo de la organización y los responsables de las principales unidades de la misma. Sin embargo, la implantación de la estrategia no se reduce a un trabajo de la alta dirección; es un trabajo de todo el equipo directivo. La implantación de la estrategia incluye a todas las unidades de la organización, desde la oficina principal hasta cada departamento operativo, los cuales deben preguntarse. “¿Qué debemos hacer para contribuir con nuestra parte del plan estratégico y cuál es la mejor manera de hacerlo?”

Otro de los factores determinantes en la implantación exitosa de la estrategia es la eficiencia con la cual gerencia dirige el proceso. Los implantadores pueden ejercer el liderazgo de diversas maneras. Pueden tener un papel activo y visible u otro velado y moderado. Pueden tomar decisiones de manera autoritaria o sobre la base del consenso, delegar mucho o poco, involucrarse personalmente en los detalles o permanecer atrás de

la barrera y capacitar a otros, proceder con rapidez (lanzando iniciativas de implantación en muchos frentes) o pausadamente (trabajando para obtener un avance gradual a largo plazo). La manera como los directivos dirigen la tarea de implantación tiende a estar en función de: (1) su experiencia y conocimiento acumulado de la empresa; (2) si son nuevos en el trabajo o titulares desde hace tiempo; (3) su red de relaciones personales en la organización; (4) sus propias capacidades de diagnóstico, administrativas, interpersonales y de solución de problemas; (5) la autoridad que se les ha otorgado; (6) el estilo de liderazgo con el que se sienten cómodos; y (7) sus puntos de vista con respecto al papel que deben desempeñar para que se hagan las cosas.

**Tabla 21. Componentes administrativos de la implantación de la estrategia**<sup>173</sup>

<p><b>Desarrollo de una organización capaz de ejecutar la estrategia</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Crear en la organización una estructura que apoye a la estrategia. Desarrollar las habilidades y capacidades básicas necesarias para ejecutar con éxito la estrategia. Seleccionar a las personas para las posiciones clave.</p>	<p><b>Establecer un presupuesto que apoye a la estrategia</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Ver que todas las unidades de la organización tengan un presupuesto suficientemente grande para que cumplan con su parte del plan estratégico. Asegurarse de que los recursos que se usen de manera eficiente para obtener el “mayor valor por cada peso”.</p>	<p><b>Instalar sistemas internos de apoyo administrativo.</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Establecer y administrar políticas y procedimientos que ayuden a la estrategia. Desarrollar sistemas administrativos y operativos que proporcionen a la organización capacidades cruciales para la estrategia. Generar a tiempo la información estratégica adecuada.</p>
<p><b>Diseñar recompensas e incentivos que se relacionen estrechamente con los objetivos y la estrategia.</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Motivar a las unidades y los individuos de la organización para que hagan su mejor esfuerzo en relación con el funcionamiento de la estrategia. Diseñar recompensas e incentivos que motiven a los empleados a hacer todo lo que sea necesario para ejecutar con éxito la estrategia. Promover una orientación a los resultados.</p>	<p><b>Moldear la cultura corporativa para que concuerde con la estrategia.</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Establecer valores compartidos. Establecer normas éticas. Crear un ambiente laboral que apoye a la estrategia. Crear en la cultura un espíritu de alto rendimiento.</p>	<p><b>Ejercer el liderazgo estratégico</b></p> <p><b>Tareas específicas</b></p> <p>Dirigir el proceso de moldear los valores y la cultura, y derrochar energía en el logro de la estrategia. Mantener a la organización con un espíritu innovador, sensible y oportunista. Enfrentar las políticas de estrategia, saliendo delante de las luchas por el poder y crear consenso. Reformar las normas y la conducta éticas. Iniciar acciones correctivas para mejorar la ejecución de la estrategia.</p>

<sup>173</sup> [www.josecontreras.net/direstr/cap91.htm](http://www.josecontreras.net/direstr/cap91.htm). Consultada el 12 de Diciembre de 2007.

Un factor que altera el enfoque de un directivo frente a la implantación de la estrategia es el contexto de la situación de la organización: la gravedad de las dificultades estratégicas de la compañía, la naturaleza y magnitud del cambio estratégico necesario, el tipo de estrategia que se está implantando, la fuerza de cualquier conducta arraigada que se necesite cambiar, los recursos financieros y de la organización disponibles para trabajar, la configuración de las relaciones personales y de la organización en la historia de la compañía, las presiones para obtener resultados rápidos y mejorar el rendimiento financiero a medio plazo, y otros factores similares que constituyen la "cultura" y el clima laboral generalizado de la compañía. La situación interna de cada compañía es única, por lo que los directivos suelen tener que adaptar su programa de acciones para que concuerde con ella. Los implantadores de la estrategia exitosos consideran con cuidado todas las ramificaciones internas al implantar una estrategia nueva y diagnostican detalladamente las prioridades de acción y la secuencia en la que se deben hacer las cosas; después empiezan a mover su organización y la siguen impulsando.

En otras palabras, el centro de toda estrategia es la obtención de beneficios a partir de los recursos y capacidades que controla la empresa, como son sus activos físicos y financieros, el capital humano, los activos intangibles como marcas, reputación, "saber-hacer", experiencia y tecnología. Las capacidades son básicamente consecuencias de la acción de la dirección para movilizar los recursos mediante la generación de un sistema de rutinas organizativas y de una cultura, resultado de un proceso de aprendizaje colectivo.<sup>174</sup>

## 4.9 ELEMENTOS ORIENTADORES

A continuación se muestran algunas acciones que permiten afirmar que la propuesta que se hace en este trabajo está fundamentada en acciones reales que han dado éxito en otros países. No obstante, resulta muy necesario determinar el hecho de que en un proceso estadístico, todas las acciones deben estar alineadas y perseguir un objetivo común, situación que no es clara en el caso mexicano.

### 4.9.1 Nuevo modelo de contrato de interconexión para las energías renovables

Actualmente, los proyectos de autoabastecimiento ofrecen buenas posibilidades para el desarrollo de las energías renovables (proyectos con capacidad combinada de casi 1300 MW han solicitado permisos); éste nuevo modelo de contrato de interconexión para las energías renovables se publicó en enero de 2006, el contrato ofrece la posibilidad de almacenar y/o acumular energía, además de cambios rotatorios favorables y capacidad de reconocimiento (para reducir costos en la demanda) en proyectos de autoabastecimiento, con generación intermitente a partir de fuentes renovables; además de un diseño gubernamental (SENER-CFE-CRE) y privado de un esquema propicio para la construcción de líneas de transmisión, con una capacidad de 2500 MW en el proyecto "La Ventosa" (2007 – 2009).<sup>175</sup>

---

<sup>174</sup> [www.navactiva.com/web/es/amngm/aseso/inrrrh/asesor1/2005/32709](http://www.navactiva.com/web/es/amngm/aseso/inrrrh/asesor1/2005/32709). Consultada el 12 de Diciembre de 2007.

<sup>175</sup> PowerMex Clean Energy & Efficiency 2006. Energías Renovables en México. SENER.

#### 4.9.2 Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE)

Aprobada en el año 2005 por la Cámara de Diputados (en espera de ser aprobada por la de Senadores), la LAFRE establece la creación de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía, el cuál coordinará y elaborará la SENER.

Uno de sus objetivos trazados es que para el año 2012, el 8% del total de la generación eléctrica en el país, sea producido a partir de energías renovables (no incluyendo la grandes hidroeléctricas). La capacidad adicional requerida se logrará con:<sup>176</sup>

- Proyectos incluidos en la planeación de la expansión de CFE, una parte de los cuales deberán ser proyectos de pequeña escala (< 30 MW).
- Proyectos de pequeña escala (< 30 MW) no incluidos en la planeación de la expansión de CFE. Proyectos de autoabastecimiento con fuentes renovables de energía.
- Proyectos en comunidades rurales aisladas.

Para el cumplimiento de éstas metas, se destinarán cerca de 600 millones de pesos al año para incentivos que fomenten la inversión pública y privada en proyectos eléctricos para el servicio público y adicionalmente 400 millones de pesos anuales para la promoción de otras tecnologías (aplicaciones eléctricas y no eléctricas), para investigación y desarrollo tecnológico, social y económico de las regiones más atrasadas del país. La Ley, establece que el SEN (Sistema Eléctrico Nacional) deberá aceptar la electricidad generada a partir de fuentes renovables en cualquier momento que se produzca.<sup>177</sup>

Los recursos federales aportados se utilizarán de la siguiente forma:<sup>178</sup>

- 55% para el “Fondo Verde”, que incentive el uso de tecnologías renovables maduras (aplicaciones eléctricas).
- 6% para el “Fondo de Tecnologías Emergentes” (aplicaciones eléctricas).
- 10% para el “Fondo de Electrificación Rural”.
- 7% para el “Fondo de Biocombustibles”.
- 7% para el “Fondo General de Energías Renovables” (aplicaciones no eléctricas).
- 15% para el “Fondo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de las Energías Renovables (FIDTER)”.

<sup>176</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER – GTZ. 2006.

<sup>177</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER – GTZ. 2006.

<sup>178</sup> Simposio México-Alemania 2006, Energías Renovables en México, situación actual y perspectivas. Jorge M. Huacúz, IIE.

Por último, se establece que al menos el 20% de los recursos del FIDTER serán destinados a la evaluación de los potenciales nacionales de las energías renovables.

#### 4.9.3 Otras iniciativas

**Iniciativa para modificar la Ley del Impuesto Sobre la Renta:** Propone un nuevo estímulo fiscal que promueva la inversión y uso de energías renovables para vivienda, que consiste en un crédito fiscal del 30% a la inversión en equipos para la generación de energía proveniente de energías renovables.

**Proyecto de Ley Especial sobre Producción y Servicios:** Propone establecer un impuesto especial del 0.5% a las importaciones de energía eléctrica, y que los recursos recaudados se destinen al fomento de las energías renovables en la generación de electricidad.

**Iniciativa para modificar la Ley Federal de Derechos:** Pretende que los combustibles fósiles paguen un derecho en función del Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) liberado en su combustión, gravando su consumo, bajo el principio de que “el que contamina paga”. Para combustibles líquidos, propone derechos de 0.52¢ a 0.97¢ de peso por litro, y un mayor gravamen para los combustibles sólidos. Para el gas natural propone 19.7¢ de peso por millar de pies cúbicos. Los ingresos recaudados se destinarían a la promoción de las energías renovables.<sup>179</sup>

**Normas Oficiales Mexicanas (NOM):** (1) NOM para la protección al medio ambiente durante la construcción, explotación y abandono en el uso de energía eólica (fase de aprobación). (2) NOM para determinar el rendimiento térmico y funcionalidad de calentadores solares (en vigor). (3) NOM para calentadores solares, que tiene por objeto establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en establecimientos nuevos y remodelaciones en el D.F., que requieran agua caliente para actividades productivas, y establece que al menos 30% del consumo energético anual deberá provenir del sistema de calentamiento basado en el aprovechamiento de la energía solar (en vigor).<sup>180</sup>

**Desarrollo de Políticas:** Con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y la GTZ – Cooperación Técnica Alemana– la SENER realizará estudios de factibilidad para bioetanol y biodiesel en el 2006. Estos estudios servirán como base para el desarrollo de una política mexicana en materia del uso de biocombustibles para el transporte.

**Apoyo por parte de la Cooperación Técnica Alemana a través de la GTZ.** Desde Junio 2005, la GTZ está implementando el proyecto “Promoción de Energías Renovables - PromovER”. El objetivo es contribuir al desarrollo del mercado de energías renovables. Para lograrlo se han planteado cuatro líneas de acción:

- Desarrollo de políticas y estrategias—al inicio con enfoque en biocombustibles.
- Asesoría para la adecuación de los marcos legal y regulatorio.
- Desarrollo de mercados y proyectos—al inicio enfocado al fomento de calentadoras solares.
- Cooperación Sur-Sur.

<sup>179</sup> Prospectiva del sector eléctrico 2006 – 2015. SENER 2006.

<sup>180</sup> Ídem

Las entidades mexicanas participantes son: Secretaría de Energía (SENER) (principal contraparte responsable), Comisión Reguladora de Energía (CRE), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

#### 4.9.4 Fomento económico y financiero

**Fondos de inversión.** Fondo de Inversión en Infraestructura (FINFRA), operado por BANOBRAS (Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos), fue creado para atraer la participación de inversionistas nacionales y extranjeros en infraestructura, aporta hasta el 35% del capital ordinario.<sup>181</sup>

**Fondos para incentivar la generación.** Además del Fideicomiso de la LAFRE, existen apoyos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) y el Banco Mundial (BN), entre otros, para la generación de electricidad a gran escala a partir de energías renovables (especialmente para la eólica), así como para la investigación y el desarrollo tecnológico.

**Proyecto de ER a Gran Escala (PERGE).** El proyecto cuenta con un donativo del GEF (Fondo para el Medio Ambiente Mundial), a través del Banco Mundial, por un total de 70 Millones de USD. Su Objetivo es impulsar las energías renovables en conexión a la red en México, y contribuir a evitar emisiones contaminantes. El proyecto se realizará en dos etapas, en la primera, se cuenta con 25 Millones de USD, de los cuales 20 se destinarán a la realización de la Venta III, un proyecto eólico (101 MW), y los 5 restantes para actividades de asistencia técnica. La CFE pagará costos evitados, y el incentivo se otorgará a los productores a través del *Fondo Verde*. En la segunda etapa, se contará con 45 Millones de USD, que se destinarán íntegramente al *Fondo Verde*. En abril de 2005, la SENER solicitó a la CFE incluir en el plan de expansión cinco proyectos eoloeléctricos de 101 MW cada uno, considerando los estímulos económicos que recibirían del *Fondo Verde del PERGE (Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala)*.<sup>182</sup>

**Fondo Verde del PERGE.** Mecanismo financiero que buscará el reconocimiento progresivo del valor real de las fuentes renovables por su contribución a la reducción de riesgos en el abasto energético y a la estabilidad de precios de la energía, por su aporte a la capacidad del Sistema Eléctrico Nacional y por su potencial para reducir los impactos ambientales regionales y globales. Destinará los recursos a otorgar incentivos por desempeño. En vez de subsidio a capital, cada proyecto recibirá un incentivo fijo por unidad de energía generada durante 5 años.<sup>183</sup>

**Bonos de carbono.** Como firmante de la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático y de su Protocolo de Kyoto, México no tiene compromisos cuantitativos y se puede beneficiar del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) vendiendo Certificados de Reducción de Emisiones. La aprobación de los proyectos realizados en México, desde la perspectiva de país huésped, la realiza el Comité de Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI) que funge como autoridad nacional designada ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, y es uno de los grupos de trabajo del Comité Intersecretarial de

---

<sup>181</sup> Ídem

<sup>182</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER – GTZ 2006.

<sup>183</sup> Ídem

Cambio Climático (CICC). En el COMEGEI la aprobación de proyectos se da por consenso entre las Secretarías que lo conforman.

A la fecha, la COMEGEI ha emitido cartas de aprobación para 24 proyectos que evitarán la emisión de 5.8 Millones de Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Adicionalmente, el Sector Energía está trabajando a través del Comité de Cambio Climático del Sector Energía, en el desarrollo de una cartera de proyectos MDL, que incluye iniciativas en los sectores público y privado para energías renovables.<sup>184</sup>

**Incentivos fiscales.** Con la finalidad de propiciar inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de energías renovables, en 2004, fue modificada la Ley de Impuesto sobre la Renta (ISR), en la que se establece que los contribuyentes del ISR podrán depreciar el 100% de la inversión en un solo ejercicio. La maquinaria y equipo que se adquiriera se debe mantener en operación durante un periodo mínimo de cinco años, con fines productivos.<sup>185</sup>

#### 4.9.5 Perspectivas

La generación eoloeléctrica en México requerirá de un mayor esfuerzo enfocado a identificar, promover e implantar líneas de acción necesarias para fomentar el uso de ésta tecnología, como:

- Crear una cultura de energía eólica y en general de las energías renovables.
- Incentivar la eficiencia en producción y aprovechamiento de energía, ya que nuestro país tiene un gran potencial en éste aspecto y no se ha sabido aprovechar al máximo.
- Desarrollar e implantar un marco regulador específico para la generación eoloeléctrica que incluya elementos que faciliten su integración al sistema eléctrico nacional.
- Facilitar procesos de transferencia de tecnología y desarrollo de tecnología propia (componentes y sistemas).
- Incrementar la infraestructura nacional de I + D (Investigación + Desarrollo), además de facilitar proyectos experimentales y demostrativos, todo esto vinculado a centros de prueba extranjeros.
- Diseñar e implementar programas para aprovechar las energías renovables en general, así como promover su uso para disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- Promover y apoyar acciones en el sector privado para desarrollar la capacidad tecnológica que permita el desarrollo de una industria eoloeléctrica mexicana, con énfasis en la mediana y pequeña industria.

---

<sup>184</sup> Ídem

<sup>185</sup> Ibídem 176

- Mejorar y aumentar proyectos eoloeléctricos y en general de energías renovables; disminuir los impuestos existentes para la implantación de los mismos, para así, minimizar la tendencia actual y fomentar el crecimiento constante de las energías renovables y por último, establecer un precio de compra para la energía eoloeléctrica que reconozca sus beneficios directos e indirectos.

#### 4.9.6 Algunos proyectos en curso para promover las energías renovables

- *Proyecto de Desarrollo de Energías Renovables a Gran Escala*: auspiciado por el Global Environment Facility / World Bank (GEF/WB) : \$25 MDD + 45 MDD, estos últimos enfocados para incentivar la producción privada; las tecnologías consideradas son las centrales eólicas conectadas a red.<sup>186</sup>
- *Plan de Acción para Remover Barreras para la Implementación a Gran Escala de la Energía Eólica*: (\$5 MDD + \$6 MDD), auspiciado por GEF/UNDP.<sup>187</sup>
- *Construcción del Centro Técnico de Energía Eólica del Instituto de Investigaciones Eléctricas (CERTE)*, ubicado en el Istmo de Tehuantepec; el cual será utilizado para la instalación de anemómetros en el territorio mexicano, así como para incrementar la I + D y facilitar la formación de recursos humanos.
- Construcción de centrales de ciclo combinado por medio de una donación de \$550 MDD por parte de GEF/WB.
- Generación de electricidad en los próximos 10 años, utilizando métodos *in situ* de energías renovables (eólica, solar e hidráulica) para electrificar el 25% (aproximadamente 50,000 viviendas) de las 89,000 pequeñas comunidades en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, que aún no cuentan con servicio eléctrico en el país; algo así como 5 millones de personas, aproximadamente un 4% de la población. Los proyectos piloto se implementarán en comunidades aisladas, localizadas a más de 5 km de distancia de la red y con un número de habitantes de entre 100 a 1000. El presupuesto será de \$96.85 MDD: \$15.35 MDD por el GEF, \$15 MDD del WB y \$66.5 MDD de recursos fiscales.<sup>188</sup>

---

<sup>186</sup> Periódico Reforma, Sección Negocios, 19 de Enero de 2007.

<sup>187</sup> PowerMex Clean Energy & Efficiency 2006. Energías Renovables en México. SENER.

<sup>188</sup> Simposio México-Alemania 2006, Energías Renovables en México, situación actual y perspectivas. Jorge M. Huacúz, IIE.

## 4.10 CASOS DE ÉXITO

Dos casos de éxito de los cuáles podríamos copiar algunas ideas de los modelos que siguieron para llegar a ser referentes importantes en el desarrollo de la industria eoloeléctrica mundial, se muestran a continuación:

1. A pesar de que el desarrollo eoloeléctrico en España ha prosperado más rápido con respecto a otros países Europeos, se debe tomar en cuenta que su despegue y consolidación tomó cerca de una década. Al igual que en otros países, el éxito del desarrollo eoloeléctrico en España también se debe a los siguientes factores fundamentales.

- La existencia de leyes y reglamentos específicos para fomento de las fuentes de energía renovable.
- Soporte gubernamental para investigación y desarrollo tecnológico, así como para asimilación y transferencia de tecnología.
- Desarrollo de una industria eoloeléctrica propia.
- Disponibilidad de recurso eólico.
- Apoyo público.

Es evidente que el desarrollo eoloeléctrico en España ha creado miles de empleos directos e indirectos y ha reforzado la base industrial. Asimismo, la generación eoloeléctrica en España ha generado recursos adicionales a cientos de propietarios de tierras eólicas. Las compañías eoloeléctricas españolas están exportando bienes y servicios a varios países del mundo. Como consecuencia, es indudable que el Gobierno Español está teniendo ingresos considerables por concepto de impuestos que se generan en la industria eoloeléctrica, tanto de manera directa como indirecta. Entonces, aquí se puede hacer una reflexión: ¿El Gobierno de España está subsidiando la generación eoloeléctrica o los incentivos que otorga el Gobierno de España a la generación eoloeléctrica son en realidad inversiones inteligentes?

2. India, se ha convertido en un país líder en el desarrollo de las energías renovables, gracias a que tiene un ministerio dedicado a este fin. Ocupa el quinto lugar mundial en cuanto a capacidad instalada de generación eoloeléctrica. La importancia de incrementar el uso de las energías renovables en la transición hacia una base energética sustentable fue reconocida por el gobierno de la India al comienzo de la década de los años sesenta. Durante el último cuarto del siglo XX, se efectuaron importantes esfuerzos enfocados hacia el desarrollo, pruebas y puestas en operación de una variedad de opciones tecnológicas para su uso en diferentes sectores de la economía y secciones de la sociedad de la India. Con base en estas actividades, se derivaron dos importantes líneas de acción: fortalecimiento de la base industrial y grandes programas de energías renovables.

## CONCLUSIONES

Hoy en día, no debemos preocuparnos en discutir si el país tiene un potencial en fuentes de energías renovables de 2,000, 5,000, 30,000 o más MW; más bien debemos ocuparnos en lograr en que se sigan instalando MW *verdes* en las diferentes zonas de nuestro país con recursos renovables importantes. El logro de ello traerá como consecuencia el desarrollo de las energías renovables progresivamente; así como el desarrollo económico y tecnológico del país.

Las Leyes y sus Reglamentos son instrumentos que tienen por objeto lograr el desarrollo cabal e íntegro de una Nación; por consiguiente, es conveniente que éstas se vayan adecuando para aprovechar (de manera oportuna) las nuevas oportunidades que pueden satisfacer necesidades presentes y previstas, tomando en cuenta las condiciones favorables ya existentes.

El sistema energético mexicano deberá sufrir cambios estructurales importantes, es necesario que haya competencia en este sector, para así poder elevar la competitividad y desatar una revolución productiva; CFE así como todo el sector energético, deberán aprender a pensar como empresas internacionales, pero reteniendo las fortalezas y ventajas que ofrece ser una empresa nacional.

Por otra parte, la asimilación de tecnología es una función indispensable para el funcionamiento eficiente, eficaz y congruente de una organización. Debe estar involucrada en la planeación estratégica de la empresa. Ella aumenta la productividad y nos ubica en mejor posición dentro del mercado de productos y de tecnología. Su aplicación debe ser sistemática y documentada.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

*La acción no debe ser una reacción sino una creación  
Mao Tse-Tung*

### 5.1 CONCLUSIONES FINALES

La energía eléctrica es un elemento indispensable para prácticamente todas las actividades de la vida moderna. El costo actual de las tarifas eléctricas en México representa un importante elemento en las decisiones de inversión y es factor clave para la competitividad de la economía. Por otro lado el calentamiento global ha tomado parte importante en la toma de decisiones referentes al uso y generación de la energía eléctrica. A principios del presente año en París, el Grupo Intergubernamental sobre la Evolución del Clima (GIEC), se reunió para hacer un documento titulado *Resumen para quienes deciden* (síntesis de un informe de 600 páginas que abarca investigaciones climatológicas mundiales recopiladas a lo largo de los últimos cinco años), en el cual los científicos más experimentados a nivel mundial afirman:

“La mayor parte del crecimiento que hemos observado de las temperaturas promedio desde mediados del siglo XX se debe *muy probablemente (90 %)* al aumento de concentraciones de gases efecto invernadero generados por el hombre”<sup>189</sup>

“Es claro que si seguimos emitiendo tasas de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero iguales o superiores a las actuales, provocaremos cambios climáticos sumamente peligrosos. Es indispensable recordar que un calentamiento superior a tres grados centígrados tendrá repercusiones que en su mayoría escapan a nuestra capacidad de anticipación...”<sup>190</sup>

En los próximos años México deberá iniciar su reducción en el consumo de hidrocarburos, por dos razones: primero, las reservas petroleras disminuyen considerablemente y segundo, por el reto del cambio climático. Actualmente, el Gobierno Federal se ha manifestado a favor de las fuentes renovables de energía, sin embargo, hasta ahora los avances en la materia son escasos, sobretodo en cuanto a la necesidad de crear un marco jurídico específico; por lo que es urgente definir una política energética amplia y de largo plazo, en donde el sector energético sea analizado integralmente para promover el desarrollo de las fuentes renovables.

Nuestro país cuenta con un gran potencial en fuentes renovables (Capítulo I), los cuales no han sido explotados aún. A continuación se muestra la generación eléctrica por fuente energética en nuestro país, donde se puede apreciar que los hidrocarburos mantienen el dominio del mercado, mientras que por ejemplo, la energía eólica tan sólo contribuye con apenas el 0.10% de la producción energética anual; no obstante que estudios realizados en años recientes muestran recursos eólicos cercanos a los 5, 000 MW. A pesar de que ha habido avances en materia de energía eólica, es necesaria la inyección de recursos públicos y privados para que empiecen a desarrollar proyectos de pequeña escala para que se genere cada vez más un mercado de energías renovables.

<sup>189</sup> Revista Proceso, sección Internacional, Domingo 11 de Febrero de 2007.

<sup>190</sup> Ídem

**Tabla 22. Generación eléctrica en México por fuente energética.**<sup>191</sup>

<i>Fuente energética</i>	<i>Porcentaje</i>
Hidrocarburos	43.51%
Productores Independientes	29.46%
Hidráulica*	10.81%
Carbón	8.63%
Nuclear	4.61%
Geotermia*	3.33%
Eólica*	0.10%

(\*) Fuente renovable

Actualmente la opción más viable para aumentar la producción eléctrica mediante fuentes energéticas no contaminantes, es la energía eólica, gracias a las disminuciones en los costos de los aerogeneradores, y a que la tecnología de los mismos a mejorado considerablemente aumentando así su eficiencia energética.

Alrededor del mundo se tienen instalados cerca de 75 mil MW y se estima que para el año 2010 habrán 160 mil MW eólicos instalados. Por lo que se hace necesario el desarrollo de una industria eólica propia, que haga surgir una diversificación y sustentabilidad energética, así como mejorar nuestra posición tecnológica, técnica y comercial a nivel mundial.

Un dato importante a resaltar es que está programada la inauguración del primer centro de investigación dedicado a la energía eólica y de cualquier otra energía renovable en nuestro país. El llamado Centro Regional de Tecnología Eoloeléctrica (CERTE) abrirá sus puertas el primer trimestre del 2008. Su misión será formar investigadores especializados en la materia, así como facilitar proyectos de desarrollo de tecnología nacional, que puedan fabricar nuevos generadores. Estará ubicado en el parque eólico La Venta, el centro contará con tres aerogeneradores que serán utilizados para realizar pruebas en torno a la adecuación de las turbinas y a las condiciones locales del viento.

Hoy día, en la industria eólica aún existen retos importantes, uno de ellos es combatir la intermitencia del viento ya que la energía eólica al igual que la solar, no es una energía constante, sino que oscila de acuerdo con la velocidad del viento y la época del año. Por ejemplo, en la Ventosa (el único parque eólico del país), el potencial eólico disminuye durante los mismos meses en los que presenta alta precipitación pluvial, por ello también deben desarrollarse proyectos eoloeléctricos combinados con otras tecnologías, como la solar o la geotérmica, además de la hidráulica.

En el presente trabajo de tesis planteamos una estrategia global en la que la asimilación tecnológica y la independencia económica de CFE conforman la parte medular para la creación de una industria eólica mexicana; lo cual aportará entre otras cosas la disminución de los costos en la compra de equipo, mantenimiento, gastos de importación, etc.; además, de que la asimilación de la tecnología, nos da la posibilidad de competir

<sup>191</sup> Comisión Federal de Electricidad, CFE, [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx). Revisado en Septiembre de 2007.

dentro y fuera de nuestro país con nuestros productos, sin que este esfuerzo redunde en una mayor dependencia del exterior.

Es necesario impulsar un desarrollo que ofrezca mejores condiciones de vida a un mayor número de mexicanos, más adecuado a nuestras necesidades, respetuoso de nuestra ecología y de nuestra cultura y con una perspectiva inteligente que enfatice los objetivos de desarrollo económico, autónomo, equilibrado y permanente.

La creación de una industria eólica también fortalecería nuestra base industrial, con lo que se podría comercializar exitosamente no sólo tecnología eólica, sino también otras tecnologías como la solar, fotovoltaica, solar térmica, pequeñas hidroeléctricas, biogás y estufas modernas de biomasa, con lo que México estaría en la posición de ofrecer vanguardia tecnológica a otros países y posicionarse para jugar un papel de liderazgo con el contexto internacional hacia un desarrollo energético sustentable.

Actualmente para cada una de éstas tecnologías existen estudios recientes de evaluación de recursos, investigación y desarrollo, con lo que el siguiente paso serían las tecnologías para el desarrollo y demostración. Actualmente, diversos sistemas y productos asociados a las energías renovables están ahora disponibles de manera comercial y demuestran su viabilidad económica contra opciones que utilizan combustibles fósiles, particularmente cuando los costos ambientales de éstos son cada vez más significativos y tomados más en cuenta.

El objetivo general de este trabajo de tesis es *Definir una estrategia de uso de la Energía Eólica para generar electricidad en México*; la cual fue nombrada *Desarrollo de proyectos de energía eólica con tecnología propia mínimo en un 80%*; para la cual calculamos un plazo aproximado de 18 años para llegar a un nivel de excelencia y cinco estrategias sobre un tema en específico referentes a la estrategia principal, dando a México entre otras cosas la oportunidad de posicionarse estratégicamente en el mercado de una nueva industria energética, trayendo en primera instancia la experiencia de las naciones expertas en estas tecnologías, para pensar luego en desarrollar tecnología nacional, y posteriormente, competir con tecnología propia en los mercados mundiales; además, permitirá a las energías renovables entrar de lleno al protagonismo energético nacional.

También, la propuesta engloba garantizar la seguridad y diversidad del suministro energético, al ser generado en el sitio mismo y con los energéticos disponibles localmente, los cuales están libres de los vaivenes de las economías regionales e internacionales, promoviendo la independencia energética y generación de empleos al constituirse un nuevo sector de la economía. Otro punto importante, es que aumentaría la promoción de tecnologías e industrias propias, una vez asimiladas las que provengan del exterior, lo cuál fomentaría en general el desarrollo económico, social y regional, cuyos efectos sumados, traerá el desarrollo energético nacional y la protección de la ecología, al no emitir sustancias contaminantes al medio ambiente, manteniendo el balance de los ecosistemas; y en una visión macroeconómica, consecuencia de todo lo anterior, permitiendo el desarrollo sustentable del país.

Como conclusiones finales se espera que esta propuesta sirva como marco de referencia para la incursión definitiva y realista de las energías renovables en México.

Sería indispensable el establecimiento de contactos con las autoridades de países que han logrado crear modelos de gestión tecnológica exitosos (Por ejemplo, India), para establecer la intención de la transferencia tecnológica, adecuándolos a nuestras necesidades y requerimientos o haciendo las diferencias pertinentes que por distinto marco legal, idiosincrasia y cultura tiene México con otros países.

Es indispensable la participación del Poder Legislativo en el proceso desde el comienzo, para que los resultados de las gestiones se plasmen en leyes, reglamentos y normativas de índole federal; y no estar sujetos así a la reinvención de país que México sufre cada seis años.

Los apoyos gubernamentales (en todos sus niveles e instancias) de cualquier tipo resultan beneficiosos al contribuir al desarrollo de instalaciones autónomas que no requieren combustibles fósiles, que por ende no contaminan, y cuya tecnología no resulta tan sofisticada que no pueda ser elaborada en cualquier país medianamente desarrollado, como México; o bien aprovechar la ya existente, aprovechando la punta tecnológica de otras naciones.

La venta a países desarrollados de certificados de reducción de emisiones, dentro del Mecanismo para el Desarrollo Limpio, puede traer a los proyectos del sector energía mexicano que reducen emisiones de gases de efecto invernadero, y particularmente a los que utilizan energías renovables, importantes beneficios económicos que contribuirán de manera significativa a acrecentar su viabilidad económica; en donde el gobierno de México, tendría la obligación de ampliar las posibilidades para realizar estas transacciones, al firmar convenios de colaboración con socios importantes que facilitarán el intercambio de información y el acercamiento entre potenciales vendedores mexicanos (desarrolladores de proyectos) y compradores extranjeros. Una secretaría de Estado atendiendo las energías renovables en México contribuiría al desarrollo energético sostenido del país, con visión de largo plazo.

## A. ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
Tabla 1. Elementos de política energética utilizados en Dinamarca para promover la tecnología y la implantación de la energía eólica .....	22
Tabla 2. Capacidad geotermoeléctrica mundial instalada al año 2004 .....	27
Tabla 3. Proyectos geotérmicos en etapa de factibilidad de la Cartera del Sector Energía .....	30
Tabla 4. Permisos de generación con ER otorgados a particulares .....	38
<b>CAPITULO 2</b>	
Tabla 5. Clasificación de aerogeneradores por tipo de régimen de viento de aplicación .....	55
Tabla 6. Relación Componentes / Empleos .....	59
Tabla 7. Distribución de costos de inversión en centrales eoloeléctricas .....	61
Tabla 8. Uso de suelo en centrales eoloeléctricas .....	63
Tabla 9. Agrupación de aerogeneradores por sus criterios de diseño .....	65
Tabla 10. Clasificación de aerogeneradores por su capacidad .....	66
<b>CAPITULO 3</b>	
Tabla 11. Niveles de decisión y agregación en la organización .....	71
Tabla 12. Tipificación del estilo en la planeación en las organizaciones .....	72
Tabla 13. Tipos de innovaciones y sus relaciones .....	92
Tabla 14. Grados de asimilación de tecnología .....	96
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Tabla 15. Niveles jerárquicos en Comisión Federal de Electricidad (CFE) .....	110
Tabla 16. Tecnología del producto .....	111
Tabla 17. Aspectos Internos .....	112

Tabla 18. Oportunidades y Amenazas .....	125
Tabla 19. Escenario integral .....	126
Tabla 20. Matriz FODA .....	127
Tabla 21. Componentes administrativos de la implantación de la estrategia .....	136

## **B. ÍNDICE DE FIGURAS**

### **CAPITULO 1**

Figura 1. Turbinas Aerodinámicas en la historia .....	19
Figura 2. Campos Geotérmicos en México .....	31
Figura 3. La Venta , Oaxaca: aerogenerador derrumbado por vientos de más de 110 Km/h en Diciembre de 2006 .....	33
Figura 4. La Venta , Oaxaca: aerogenerador derrumbado por vientos de más de 110 Km/h en Diciembre de 2006. ....	33
Figura 5. Mapa de recursos eólicos del Istmo de Oaxaca .....	36
Figura 6. Capacidad instalada y Generación bruta por tecnología 2004 – 2014 .....	37

### **CAPITULO 2**

Figura 7. La Producción Eólica .....	40
Figura 8. Subsistemas principales de un aerogenerador de eje horizontal .....	41
Figura 9. Chasis principal, subsistemas principales de un aerogenerador moderno .....	42
Figura 10. Concepto de solidez de un rotor .....	42
Figura 11. Relación entre el par y la velocidad angular de generadores asíncronos .....	44
Figura 12. Curva de potencia hipotética de un aerogenerador de 500 kW con regulación ideal de potencia .....	45
Figura 13. Sistema de velocidad variable con acondicionamiento CA-CD-CA .....	46

	<b>Página</b>
Figura 14. Configuraciones para la orientación de aerogeneradores con respecto al viento .....	48
Figura 15. Servomecanismo para orientación de rotores viento arriba o barlovento .....	49
Figura 16. Elementos de protección contra rayos .....	51
Figura 17. Ejemplo de un sistema de tierras para una central eoloeléctrica .....	52
Figura 18. Configuración típica de una central eoloeléctrica en terrenos planos .....	53
Figura 19. Resultados teóricos de un estudio sobre pérdidas de energía por efecto de estela en terreno plano .....	54
Figura 20. Ejemplo de la disminución del ruido con la distancia para un aerogenerador específico de 600 KW .....	63
Figura 21. Comparación del ruido que se percibe de diferentes fuentes .....	64
Figura 22. Parque eólico de Kappel (Dinamarca) .....	64
Figura 23. Los 10 grandes proveedores en 2005 .....	66
Figura 24. Pronóstico para los años 2006 a 2010 sobre el crecimiento de la industria eólica a nivel mundial .....	67

### **CAPITULO 3**

Figura 25. Modelo organizacional de los tres vectores .....	74
Figura 26. Vectores del sistema organizacional .....	75
Figura 27. Desarrollo del vector principal, Misión .....	75
Figura 28. Componentes del vector estructura organizacional .....	76
Figura 29. Integración del vector diseño de transformación .....	77
Figura 30. Sistema organizacional integrado y su entorno .....	78
Figura 31. Esquema conceptual de la planeación a partir del pasado .....	79
Figura 32. Esquema conceptual de la planeación a partir del futuro .....	81
Figura 33. Esquema conceptual del análisis estructural para determinar las estrategias clave .....	82

	<b>Página</b>
Figura 34. Gráfica cartesiana de la estructura, indicando las áreas con el tipo de relación .....	83
Figura 35. Planeación estratégica integral (considerando los tres estadios del tiempo) .....	84
Figura 36. Estrategia tecnológica integral .....	85
Figura 37. Entornos de la Administración Tecnológica .....	86
Figura 38. Conformación de la práctica tecnológica .....	86
Figura 39. Vectores del paquete tecnológico .....	87
Figura 40. Vector principal: Misión .....	87
Figura 41. Diagrama de estado tecnológico .....	90
Figura 42. Líneas tecnológicas .....	92
Figura 43. Creación de tecnología .....	93
Figura 44. Actividades y objetivos de la asimilación tecnológica .....	95

#### **CAPÍTULO 4**

Figura 45. Planeación estratégica integral (considerando los tres estadios en el tiempo) .....	102
Figura 46. Diagrama organizacional del Sector Eléctrico Mexicano .....	108
Figura 47. Estructura organizacional de la SENER .....	108
Figura 48. Estructura organizacional de CFE .....	109

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Aerogeneradores de regulación activa por pérdida aerodinámica.** Técnicamente, las máquinas de regulación activa por pérdida aerodinámica se parecen a las de regulación por cambio del ángulo de paso, en el sentido de que ambos tienen palas que pueden girar. Para tener un momento de torsión (fuerza de giro) razonablemente alto a bajas velocidades del viento, este tipo de máquinas serán normalmente programadas para girar sus palas como las de regulación por cambio del ángulo de paso a bajas velocidades del viento (a menudo sólo utilizan unos pocos pasos fijos, dependiendo de la velocidad del viento).

**Aerogeneradores de regulación por cambio del ángulo de paso ("pitch controlled").** En un aerogenerador de regulación por cambio del ángulo de paso, el controlador electrónico de la turbina comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas son vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo.

**Aerogeneradores de regulación por pérdida aerodinámica ("stall controlled").** Los aerogeneradores de regulación (pasiva) por pérdida aerodinámica tienen las palas del rotor unidas al buje en un ángulo fijo. Sin embargo, el perfil de la pala ha sido aerodinámicamente diseñado para asegurar que, en el momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, se creará turbulencia en la parte de la pala que no da al viento, tal y como se muestra en el dibujo de la página anterior. Esta pérdida de sustentación evita que la fuerza ascensional de la pala actúe sobre el rotor.

**Campo magnético:** Campo de fuerza que llena el espacio que rodea todo imán o alambre que transporte corriente. Si se coloca otra imán o alambre que transporte corriente en esa región experimentará una fuerza magnética.

**Capacidad:** Es la potencia máxima a la cual puede suministrar energía eléctrica una unidad generadora, una central de generación o un dispositivo eléctrico, la cual es especificada por el fabricante o por el usuario.

**Carga:** Es la potencia requerida por los dispositivos de consumo y se mide en unidades de potencia eléctrica (Watts); cada vez que un usuario acciona un interruptor para conectar o desconectar un aparato de consumo eléctrico produce una variación en su demanda de electricidad.

**Cizallamiento del viento:** El hecho de que el perfil del viento se mueva hacia velocidades más bajas conforme nos acercamos al nivel del suelo suele llamarse cizallamiento del viento.

**Coeficiente de potencia:** Eficiencia de una máquina.

**Control de potencia en aerogeneradores.** Los aerogeneradores están diseñados para producir energía eléctrica de la forma más barata posible. Así pues, están generalmente diseñados para rendir al máximo a velocidades alrededor de 15 m/s. Es mejor no diseñar aerogeneradores que maximicen su rendimiento a vientos más fuertes, ya que los vientos

tan fuertes no son comunes. En el caso de vientos más fuertes es necesario gastar parte del exceso de la energía del viento para evitar daños en el aerogenerador. En consecuencia, todos los aerogeneradores están diseñados con algún tipo de control de potencia.

**Corriente Alterna (CA):** Corriente eléctrica cuya dirección se invierte rápidamente una y otra vez; en general, la frecuencia es de 60 Hz (en América del Norte) y de 50 Hz (en casi todo el resto del mundo).

**Corriente Continua (CC):** Corriente eléctrica en la que la carga fluye siempre en una sola dirección.

**Corriente eléctrica:** Flujo de carga eléctrica; se mide en amperes.

**Densidad:** Masa de aire seco medida en  $\text{kg/m}^3$ . La densidad del aire seco a la presión atmosférica estándar al nivel del mar a  $15^\circ \text{C}$  se utiliza como estándar en la industria eólica y es de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .

**Distribución de Weibull:** Es utilizada en la industria eólica para describir las variaciones de la velocidad del viento en un emplazamiento dado tomados a partir de datos anemométricos; la información recabada es útil para optimizar el diseño los aerogeneradores y para minimizar los costes de generación.

**Electroimán:** Imán cuyo campo está producido por una corriente eléctrica; en general, tiene la forma de un alambre devanado alrededor de un trozo de hierro.

**Embalamiento:** Protección aerodinámica.

**Energía:** Los físicos definen la palabra energía como la cantidad de trabajo que un sistema físico es capaz de producir. La energía, de acuerdo con la definición de los físicos, no puede ser creada, ni consumida, ni destruida; sin embargo, la energía puede ser convertida o transferida en diferentes formas: la energía cinética del movimiento de las moléculas de aire puede ser convertida en energía rotacional por el rotor de una turbina eólica, que a su vez puede ser convertida en energía eléctrica por el generador de la turbina eólica. En cada conversión de energía, parte de la energía proveniente de la fuente es convertida en energía calorífica.

**Factor de carga:** es la relación entre la demanda media y el valor de la demanda máxima registradas en un periodo determinado. El factor de carga se acerca a la unidad a medida que a curva de carga es más plana. Si el factor de carga es cercano a la unidad significa un uso más intensivo y continuo de los equipos.

**Frecuencia:** Número de vibraciones por unidad de tiempo; se mide en hertz (Hz).

**Inducción electromagnética:** Fenómeno por el cual se induce un voltaje en un conductor haciendo variar el campo magnético que lo contenga.

**Potencia:** La potencia eléctrica suele medirse en vatios (W), kilovatios (kW), megavatios (MW), etc. La potencia es transferencia de energía por unidad de tiempo. La potencia puede ser medida en cualquier instante de tiempo, mientras que la energía debe ser medida durante un cierto periodo, p.ej. un segundo, una hora o un año.

**Rosa de los Vientos:** Una rosa de los vientos proporciona información sobre las velocidades relativas del viento en diferentes direcciones, puede ser dividida en 8, 12 o 16 sectores; las rosas de los vientos varían de un lugar a otro, son algo así como una especie de huella meteorológica.

**Sistema de freno aerodinámico: frenos en punta de pala.** El sistema de frenado primario de la mayoría de aerogeneradores modernos es el sistema de frenado aerodinámico, que básicamente consiste en girar las palas del rotor unos 90 grados alrededor del eje longitudinal (en el caso de turbinas de regulación por cambio en el ángulo de paso o de turbinas de regulación activa por pérdida aerodinámica), o en girar 90 grados la punta de las palas del rotor (en el caso de turbinas de regulación por pérdida aerodinámica). Estos sistemas suelen estar accionados mediante resortes con el fin de que, incluso en caso de fallo de suministro eléctrico, sigan funcionando, y son automáticamente activados si el sistema hidráulico de la turbina pierde presión. Una vez que la situación de peligro ha pasado el sistema hidráulico de la turbina suele devolver las palas, o la punta de las palas, a su posición original.

**Sustentación:** Mantenimiento de un cuerpo en la atmósfera, contrarrestando la acción de la gravedad.

**Transformador:** Dispositivo que permite incrementar o reducir el voltaje por inducción electromagnética.

**Turbinas eólicas con generadores síncronos.** Las turbinas eólicas que utilizan generadores síncronos suelen usar imanes en el rotor alimentados por corriente continua de la red eléctrica. Dado que la red suministra corriente alterna, hay que convertir la corriente alterna en corriente continua antes de enviarla a las bobinas arrolladas a los electroimanes del rotor. Los electroimanes del rotor están conectados a la corriente mediante escobillas y anillos rozantes en el árbol (eje) del generador.

**Velocidad angular  $[\omega]$ :** es una medida de la velocidad de rotación. Se mide en radianes por segundo (o simplemente  $s^{-1}$  porque los radianes son adimensionales) y se define como  $\omega = 2\pi f$

**BIBLIOGRAFÍA.****I. Documentos y Libros.**

1. Análisis de Sistemas de Potencia, John J. Grainger, William D. Stevenson Jr., 1996. Ed. Mc Graw Hill
2. Asimilación de tecnología, José Fernando Guerrearo Salazar, 1988, IPN.
3. Balance Nacional de Energía 2003, SENER 2004, México.
4. Balance Nacional de Energía, www.anes.org, ANES 2005, México.
5. Borja M.A., Huacuz, J., et al., Estudio de prefactibilidad de una central eoloeléctrica de 150 MW para la zona de La Ventosa, México, Instituto de Investigaciones Eléctricas, informe IIE/01/14/10741/I002/F, México, junio de 1997.
6. BTM Consult ApS. International Wind Energy Development – March 2006.
7. Development of Wind Turbine Systems, International Energy Agency, 1997.
8. Elliot D., et al. Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. National Renewable Energy Laboratory. Documento NREL/TP-500-35575. Abril, 1994.
9. Energía Eólica, centrales eoloeléctricas, Marco A. Borja Díaz y colaboradores, IIE, 1999.
10. Energía Eólica, Oscar A. Jaramillo Salgado, CIE, UNAM, Mayo 2006.
11. Energía Solar. Centro de Investigación de Energía, UNAM. Mayo de 2005 Autores: Dr. Claudio A. Estrada Gasca, CIE UNAM; Dr. Camilo A. Arancibia Bulnes, CIE UNAM, entre otros.
12. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. SENER – GTZ 2006.
13. Estado del Arte y Tendencias de la Energía Eoloeléctrica. Instituto de Investigaciones Eléctricas / Programa Universitario de Energía (UNAM) 1ra. Edición 1998.
14. Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México, 2005, Omar R. Maserá CIE, UNAM.
15. Estrategia Tecnológica Integral. José Giral B. , Sergio González, 1986.
16. Física Básica, 2da Edición; Paul E. Tippens, 1991. Ed. Mc Graw Hill
17. Fundamentos de Física II, Electricidad y Magnetismo; Francis W. Sears (M.I.T.), 1972. Ed. Aguilar

19. Grupo TMIQ, Guía de asimilación de tecnología, Mayo de 1984.
18. IEA Statistics, Renewables Information 2003. International Energy Agency, OECD/IEA, 2003.
19. Libro Blanco de la Bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía 2005, México.
20. Manual de dirección estratégica de la tecnología, La producción como ventaja competitiva. E. Fernández Sánchez, Z. Fernández Casariego. Ed. Ariel Economía, 1988.
21. NREL Energy Analysis Office, [www.nrel.gov/analysis/docs/cost\\_curves\\_2020.ppt](http://www.nrel.gov/analysis/docs/cost_curves_2020.ppt).
22. Perspectivas de la Energía Geotérmica en México". Autor: Luis Quijano, CFE , Gerencia de Proyectos Geotérmicos.
23. Planeación Estratégica con enfoque sistemático, Luis A. Valdés Hernández, Fondo Editorial FCA, UNAM, 2005.
24. PowerMex Clean Energy & Efficiency 2006. Energías Renovables en México. SENER.
25. Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, Wind R&D International Energy Agency Programme.
26. Primer documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec. Marco A. Borja Díaz, Oscar Jaramillo Salgado, Fernando Mimiaga Sosa; IIE, 2003.
27. Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014, SENER 2005, México.
28. Prospectiva del sector eléctrico 2006 – 2015. SENER 2006, México.
29. Simposio México-Alemania 2006, Energías Renovables en México, situación actual y perspectivas. Jorge M. Huacúz, IIE.
30. Sistema de Información Energética: [sie.energia.gob.mx/sie/bdiController](http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController) , SENER 2005, México.
31. SolarPACES Annual Report 2003. International Energy Agency Solar Power and Chemical Energy Systems. Edited by M. Geyer. April, 2004.
32. Tecnologías Termosolares a Concentración para la Generación de Potencia Eléctrica en México (Informe Final 1999), Instituto de Investigaciones Eléctricas Diciembre, 1999.
33. Tesis: Producción de energía eléctrica a partir de energías renovables e hidrógeno. Autores: Juan Molina Martínez, Jesús Rosas Medellín, Jesús Serrano García. Director de Tesis: M.I. Rodolfo Lorenzo Bautista. Codirector: Ing. Pedro Matabuena Cascajares, 2006.
34. Una Visión al 2030 de la Utilización de las Energías Renovables en México, UAM 2005, México.

35. Un marco teórico para la evaluación. 2da reimpresión. México. Autor: Gabriel Sánchez Guerrero. UNAM, Facultad de Ingeniería. 1995. 29 p. Cuadernos de Planeación y Sistemas, número 8.
36. Vestas, General Specifications 600 kW variable slip wind turbines, 2000.
37. VI Foro Regional. Impacto Estratégico de la Energía Geotérmica y Otras Renovables en Centro América. Managua, Nicaragua, Octubre de 2005. "Situación Actual y Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México.
38. Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2003, Estados Unidos de América.
39. *World market update 1997*, International Wind Energy Development, BTM Consult Aps., 1998.

## II. Periódicos y Revistas.

1. Periódico Excelsior, sección Dinero, Viernes 16 de Febrero de 2007.
2. Periódico Excelsior, sección Dinero, Viernes 30 de Marzo de 2007.
3. Periódico Reforma, sección Negocios, Viernes 19 de Enero de 2007.
4. Periódico Reforma, sección Negocios, Viernes 9 de Febrero de 2007.
5. Revista Proceso, sección Internacional, Domingo 11 de Febrero de 2007.

## III. Internet

1. <http://www.amdee.org>, Asociación Mexicana de Energía Eólica.
2. <http://www.amedes.org.mx>, Asociación Mexicana para la Energía y Desarrollo Sustentable.
3. <http://www.bornay.com>, Bornay Aerogeneradores.
4. <http://www.btm.dk>, BTM Consulting.
5. <http://www.cfe.gob.mx>, Comisión Federal de Electricidad.
6. <http://www.conae.gob.mx>, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
7. <http://www.cre.gob.mx>, Comisión Reguladora de Energía.

8. <http://www.degerencia.com/articulos.php?artid=1046>, Artículo publicado de Alan Chapman.
9. <http://www.edf.fr>, Electricité de France.
10. <http://www.energia.gob.mx> , Secretaría de Energía.
11. <http://www.fide.org.mx>, Fideicomiso para el Ahorro de Energía.
12. [http://www.fi-p.unam.mx/simposio\\_investigacion2dc04/una\\_metodologia.html](http://www.fi-p.unam.mx/simposio_investigacion2dc04/una_metodologia.html), Técnica Jiro Kawakita.
13. <http://www.gamesa.es>, Corporación Tecnológica Gamesa.
14. <http://www.iberdrola.es>, Iberdrola Renovables.
15. <http://www.iea.org>, International Energy Agency.
16. <http://www.iie.org.mx>, Instituto de Investigaciones Eléctricas.
17. <http://www.intergen.com>, INTERGEN, Soluciones energéticas para un mundo en desarrollo.
18. <http://www.ipcc.ch>, Intergovernmental Panel on Climate Change.
19. <http://www.josecontreras.net/direstr/cap91.htm>,
20. <http://www.lfc.gob.mx>, Luz y Fuerza del Centro.
21. <http://www.navactiva.com/web/es/amngm/aseso/inrrrh/asesor1/2005/32709>.
22. <http://www.unionfenosa.es>, UNION FENOSA, Empresa Energética Integrada.
23. <http://www.windpower.org>, Danish Wind Industry Association.