

Carter, Sergio E; Borgeaud, Aner H. *Planeamiento de la incorporación de energía eoloelectrónica a la red pública. Tecnología en Marcha. Vol 10, no. 4. p. 3-14.*

PLANEAMIENTO DE LA INCORPORACION DE ENERGIA EOLOELECTRICA A LA RED PUBLICA

Sergio E. Carter*
Aner H. Borgeaud*

RESUMEN

Se establecen las premisas básicas para el planeamiento de la incorporación de Energía Eoloelectrónica (EEE) a los Sistemas Interconectados.

Los aspectos considerados se presentan desde el punto de vista de la aerogeneración de potencia y del planeamiento energético, destacando las bases conceptuales para un modelo de oferta, en cuyo desarrollo computacional se trabaja actualmente. Este modelo requiere de solo dos variables que deben determinarse exógenamente: la demanda de Energía Eléctrica y la prospección del recurso eólico. El resto de la información (costo de recursos alternativos, política de sustituciones, disponibilidad de tecnología, etc.) es provista por interrelaciones entre submodelos contenidos en el modelo agregado.

Considerando la existencia de numerosos sistemas predominantemente térmicos en Latinoamérica, la implementación de un modelo como el propuesto puede significar un interesante aporte en la diversificación de energéticos primarios de dichos sistemas y por lo tanto, un ahorro significativo de energéticos fósiles.

a que todos los países, en mayor o menor medida, hayan tenido que adoptar políticas tendientes a incentivar la investigación en este campo y a abordar el problema de planificación energética como, entre otros, lo señalan Stephen (1985), Torres (1985), Carter (1986), Carter y Borgeaud (1989).

Las medidas político-administrativas puestas en práctica en las diferentes naciones, han tenido matices y orientaciones diferentes dependiendo de la situación energética interna, niveles de consumo, disponibilidad de fuentes primarias, dependencia externa de sus abastecimientos e infraestructura y capacidad para desarrollar investigación, creando o adaptando tecnologías de acuerdo con sus respectivas realidades.

En general, los países han tratado de orientar sus políticas energéticas hacia escenarios con menores consumos relativos, buscando una mayor seguridad en sus abastecimientos. Dentro de estas perspectivas se prevé que las tecnologías emergentes^{5,6}, como reactores regenerativos y energías renovables fundamentalmente en las formas eólica y solar, harán contribuciones cada vez más significativas dentro del contexto de aporte global de energéticos.

La revisión de la literatura clásica sobre el tema^{7,8,9,10} muestra la existencia de numerosos modelos de demanda: econométricos como ENDIM (India), ISFD (Canadá), contables como el MEDEE (Francia) y sistémicos como MEDEE-3 (Francia), MEDEE 3S, CEE, PROCER (Portugal, España). En general, la gran mayoría de ellos apunta a la previsión de la demanda en el largo plazo, con excepción del modelo PROCER que contempla un horizonte de corto o mediano plazo.

En cuanto a modelos de optimización de la oferta como ESPM, EFOM y MARKAL entre los modelos más conocidos, tienen una característica

INTRODUCCION

La situación energética ha concitado el interés mundial durante las dos últimas décadas, como consecuencia de las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979. Estas afectaron en forma decisiva la economía mundial y consecuentemente han forzado

común que es el contemplar el sistema energético en su conjunto, desagregando, en algunos casos, los subsectores de mayor peso. En general no se ha incursionado en modelos de oferta con algún tipo de energía no convencional, por lo que, considerando el impacto que en Latinoamérica debiera tener la energía eólica como energético primario, se plantean las bases para un modelo de oferta de energía eoloeléctrica, que permita explorar su incorporación a la red pública.

Los modelos de oferta pretenden optimizar la expansión y operación del sector energético, para un nivel dado de la demanda interna. Este trabajo plantea el marco teórico de un modelo de oferta, que pretende tomar en cuenta los aspectos relacionados con la prospección y distribución del recurso eólico y el procesamiento y sistematización de la información que permitan lograr su posterior implementación, incorporando energía a los Sistemas de Potencia.

Acorde con las características de los modelos de oferta, se identifican las variables exógenas, se analizan las tecnologías más apropiadas, costos, beneficios, etc., a la vez que se muestran las relaciones entre ellas con el objeto de determinar las posibilidades de desarrollo de este tipo de energía.

De la información de entrada existen solo dos variables independientes que deben ser determinadas exógenamente: la demanda de Energía Eléctrica y la prospección del recurso eólico. El resto de la información de entrada está interrelacionada y proviene de políticas globales adoptadas por el gobierno, del ritmo de asimilación y desarrollo de nuevas tecnologías, de variaciones de parámetros macroeconómicos internos y externos al país, de cambios sociológicos, etc.

Los aspectos que condicionan el comportamiento del modelo son: demanda de energía eléctrica, prospección del recurso eólico, capacidad de generación estimada, precio de los recursos energéticos alternativos, tecnología disponible, estimación de la energía anual producida, inversión en desarrollo de proyectos de generación eoloeléctrica, política de sustituciones, beneficios adicionales como impacto ecológico, independencia energética, efectos inducidos, etc.

En Chile parece particularmente interesante el aprovechamiento del potencial eólico, potencial que se debe al extenso litoral del país y a sus especiales características orográficas, existiendo estimaciones de la energía eólica utilizable en el país del orden de

5×10^{11} kwh por año¹¹, que superan el doble del potencial hidroeléctrico del país técnicamente factible de aprovechamiento.

Por otra parte, Nelson y Caldera¹² han recopilado información acerca del potencial eólico de varios países latinoamericanos -Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, México y Uruguay- con base en el primer Atlas de OLADE para América Central y otras comunicaciones.

Atendiendo a estas favorables condiciones, en especial al gravitante aporte que puede significar la energía eléctrica de origen eólico en años hidrológicamente deficitarios en los Sistemas Interconectados, se plantean las bases para un modelo de oferta que tras su implementación computacional, pudiera representar una importante herramienta en la decisión de estimular la incorporación de la energía eólica a los Sistemas Públicos.

PRINCIPIOS DE AEROGENERACION

Consideraciones generales

Las máquinas eoloeléctricas convierten parte de la energía del viento en energía eléctrica. Este proceso consta de dos etapas fundamentales:

- La producción de energía mecánica en el eje de la turbina accionada por el viento
- La conversión de esta energía a su forma eléctrica.

A pesar de su carácter aleatorio, el viento presenta una cierta periodicidad y regularidad durante el año, lo que permite modelar su comportamiento mediante el empleo de algunas distribuciones estadísticas. Estos modelos se basan en mediciones de velocidad y frecuencia de ocurrencia, en un lugar determinado.

La potencia transportada por el viento está dada por:

$$P_v = \frac{(\rho A V^3)}{2} |w| \quad \text{Ecuación 1}$$

donde, ρ : densidad del aire (depende de la temperatura, humedad, presión atmosférica y altura sobre el nivel del mar) [kg/m³]

- A : superficie barrida por las aspas de una máquina eólica de eje horizontal o superficie "equivalente" para otro tipo de máquinas [m²].
- V : velocidad promedio del viento [m/s]

Según Betz, 1929, la potencia máxima teórica que puede extraerle al viento un rotor perfecto, de acuerdo con las leyes de la aerodinámica y sin considerar la formación de torbellinos, es la 16/27 av parte de la potencia transportada.

En cuanto a características generales de construcción, las máquinas eólicas se clasifican en dos tipos: las de eje horizontal en donde la energía es captada del viento a través de una turbina que puede constar de una o varias aspas, y las de eje vertical, de más reciente aparición, que tienen la ventaja de ser mecánicamente simples y de fácil mantención, ya que el equipo principal está a nivel de piso, pero su tecnología está menos madura en la actualidad que las del primer tipo.

Los parámetros fundamentales que se deben considerar en el Diseño de un Sistema de Conversión de Energía Eólica (SCEE) son el coeficiente de potencia (C_p) del rotor, el que se

define como la razón de potencia extraída desde una potencia latente en el viento sobre un área igual a la que cubre la turbina, y la razón entre las velocidades del extremo del aspa y del viento, llamada velocidad específica (λ). Una máquina eólica típica, con fines de generación eléctrica, logra un C_p de 0,4.

La Figura 1 muestra algunos coeficientes de potencia típicos versus λ .

En dicha figura se puede apreciar claramente la forma cóncava de las curvas reales, en las que existe un valor de λ que maximiza la extracción de potencia de la máquina. Cuando varía la velocidad específica, el punto de operación se desplaza a lo largo de la curva disminuyendo la extracción de energía del rotor.

Estrategias de generación

Una decisión fundamental en la implementación de un SCEE es la elección del tipo de máquina que se va a utilizar, lo que a su vez determina la estrategia de generación por seguir.

Se distinguen dos grandes grupos de aeromáquinas: las que generan en corriente continua y las que lo hacen en corriente alterna.

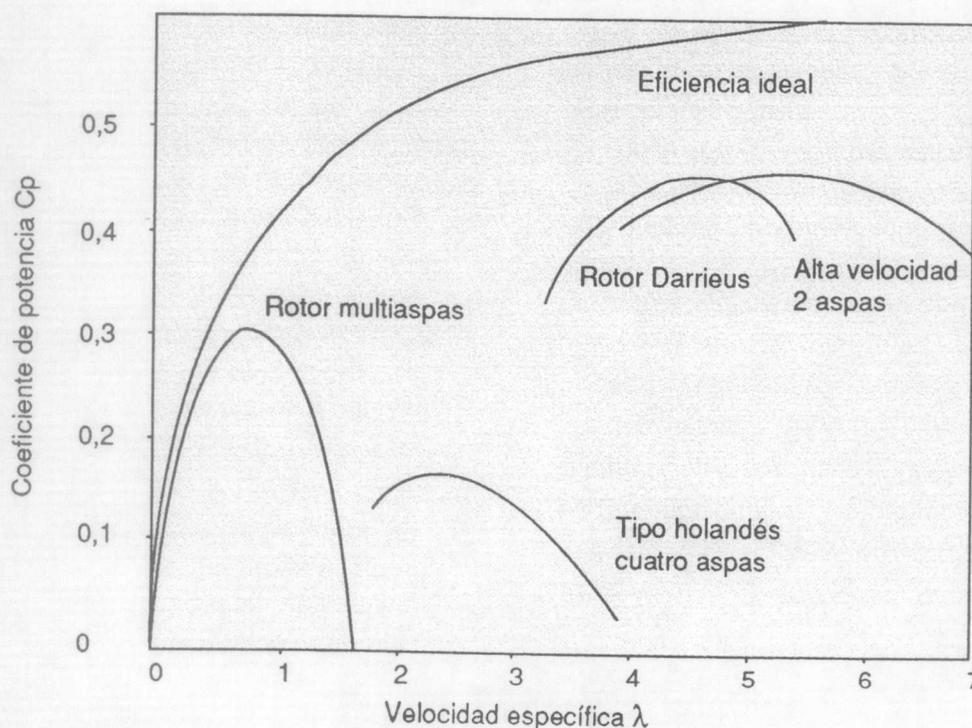


FIGURA 1. Coeficientes de potencia de algunas máquinas eólicas versus velocidad específica.

Las primeras presentan una buena respuesta a las variaciones de velocidad del viento y un mejor aprovechamiento de los excesos del recurso, aproximándose en buena medida a la curva cúbica de potencia disponible en el viento. En general, son poco complejas técnicamente comparadas con las que generan corriente alterna, sobre todo porque no requieren trabajar con velocidad constante en el rotor, lo cual evita el control del ángulo de calaje de las aspas, pero hace imprescindible el control de tensión y frecuencia en el caso de aportar energía a la red pública.

Las máquinas de corriente continua tienen un campo casi exclusivo bajo 1 kw de potencia y para prácticamente todo el intervalo de velocidades comprendido entre 400 y 3000 rpm.

En cuanto a eogeneradores de corriente alterna, existen dos tipos: velocidad constante-frecuencia constante (VCFC) y velocidad variable-frecuencia constante (VVFC). Ambas opciones permiten la operación de la máquina acoplada a una red eléctrica de distribución.

La estrategia de generación VCFC requiere velocidad constante y consecuentemente una variación controlada del ángulo de calaje de las aspas o algún sistema de control de velocidad que permita la operación bajo las condiciones especificadas. En este caso, se produce una variación de λ con lo que el punto de operación de la máquina se desplaza por la curva de C_p y disminuye su eficiencia global.

Las máquinas que operan a VVFC permiten que el generador funcione a λ óptima y constante, obteniéndose el máximo coeficiente de potencia. En este caso para aportar energía a la red, es necesario el uso de dispositivos de control de frecuencia y tensión.

Estos sistemas mantienen constante la velocidad específica correspondiente a C_p máximo, en el amplio intervalo de variación de las velocidades del viento en que la máquina genera, lo que repercute en una mayor potencia comparada con los sistemas de velocidad constante en los intervalos de bajas y altas velocidades.

Se prevén^{13,14} nuevos desarrollos de los generadores eolobélicos, más eficientes, producidos en gran escala y consecuentemente de menor costo.

EL PLANEAMIENTO ENERGETICO

Aspectos principales

El planeamiento energético^{15,16} pretende el logro de dos objetivos globales:

- Prever las perspectivas más probables del desarrollo del sector, en cuanto a su estructura de demanda, producción, conversión de energía y flujos financieros
- Analizar y evaluar las distintas opciones que se le presentan al país en el aspecto energético.

El logro de estos objetivos se manifiesta en un conjunto integrado de recomendaciones sobre política y desarrollo de proyectos.

Debido al grado de complejidad e interdependencia, el planeamiento del sector energético plantea las siguientes exigencias generales:

- i) Debe ser integral, dado que no es posible determinar el desarrollo de un subsector sin considerar simultáneamente a los demás y las interrelaciones que existen entre ellos
- ii) Requiere de instrumentos analítico-cuantitativos, que constituyen en esencia modelos que representan a los subsectores y permiten simular su comportamiento. Los modelos deben representar adecuadamente las características tecnológicas y económicas de los distintos subsectores, sus interrelaciones y las que existen con el resto de la economía, con el objeto de proyectar cuantitativamente el desarrollo del sector bajo diferentes condiciones
- iii) Precisa de una amplia base de información. Para que un modelo pueda lograr su objetivo se requiere de información lo más precisa y detallada posible sobre: disponibilidad de recursos energéticos, la evolución y características de la producción de energías primaria y secundaria, los usos que de ellas hacen los distintos grupos de usuarios, la expansión prevista y operación del sistema eléctrico u otro subsector. También se necesita información sobre tecnologías y estrategias de producción, conversión y utilización de la energía, costos involucrados, información sobre mercados externos y variables externas que inciden en la demanda por energía y posibilidades de comercio internacional de energéticos

- v) Debe constituir un ejercicio continuo, pues requiere irse adaptando a las nuevas condiciones en todo momento, dado que son factores externos e internos los que condicionan el planeamiento y permiten seleccionar las estrategias
- v) Debe considerar las relaciones entre el sector energético y el resto de la economía incorporando al planeamiento consideraciones de costos y beneficios sociales que se desprenden de su desarrollo. Se deben cuantificar las relaciones principales entre energía y economía, como las siguientes:

- La demanda por los distintos tipos de energía y su proyección de crecimiento en las diferentes actividades económicas
- Los efectos principales del sector energético sobre el resto de la economía mediante un proceso iterativo del uso de los modelos energéticos y económicos empleados para las proyecciones, y finalmente,
- Deben considerarse beneficios y costos que impactan a la economía dependiendo de las diferentes opciones de desarrollo del sector energético que se adopten.

Los costos y beneficios (deben ser cuantificables de modo que sean útiles como datos de los modelos) son característicos de cada país, pues dependen de la realidad política, social, económica, cultural e incluso geológica, lo que implica que el modelo desarrollado para un país no puede ser aplicado sin modificaciones en otra nación. Sin embargo, existen criterios en el planeamiento que, tal como se ha visto, poseen validez general.

Instrumentos analíticos para la planificación del sector energético

Fundamentalmente están constituidos por modelos energéticos, que se han desarrollado y utilizado en diferentes países. Estos se pueden presentar en diferentes niveles del proceso de planificación, desde la modelación de la oferta o demanda de un tipo particular de energía a modelos de desarrollo agregados a nivel de país.

En general los modelos se agrupan en tres clases:

- **Modelos contables:** parten de construir un balance energético lo más detallado posible proyectando sus tendencias más probables en lo que se denomina Caso de Referencia. Se examina la posibilidad de introducir distintos tipos de variaciones y los ajustes que se requerirían en todo el sistema para conservar el equilibrio energético
- **Modelos de simulación:** útiles para planificación de políticas de inversiones energéticas a mediano plazo. Toman como base el Caso de Referencia, se analizan los efectos que se producirían en el sistema ante modificaciones de algunos parámetros, tanto internos como externos, para determinar las condiciones más favorables que justifiquen las inversiones
- **Modelos globales de optimización:** tienen por objetivo analizar opciones de desarrollo tecnológico de largo plazo, con el propósito de determinar qué tecnología debe apoyarse e incentivarse, lo cual implica caracterizar, simplificadaamente, los sectores de oferta y demanda.

La Figura 2 muestra una estructura global típica del planeamiento energético.

Dentro de la planificación se consideran modelos de oferta y demanda de energía, estos últimos prevén la demanda energética de un país para los distintos subsectores.

Modelos de oferta

En general, en un modelo de oferta se distinguen las siguientes fases:

- i) **Definición de los escenarios energéticos:** un escenario es una combinación de todas aquellas variables exógenas que determinan las posibilidades de un sector energético. En una planificación general, estos escenarios diferirán no solo debido a las numerosas variables exógenas, sino también a causa de los distintos niveles de prioridad que se asignen a los criterios de evaluación usados
- ii) **Desarrollo del modelo propiamente tal:** el que deberá ser capaz de analizar las numerosas tecnologías contempladas en el escenario y los diversos criterios de evaluación que se deben aplicar.

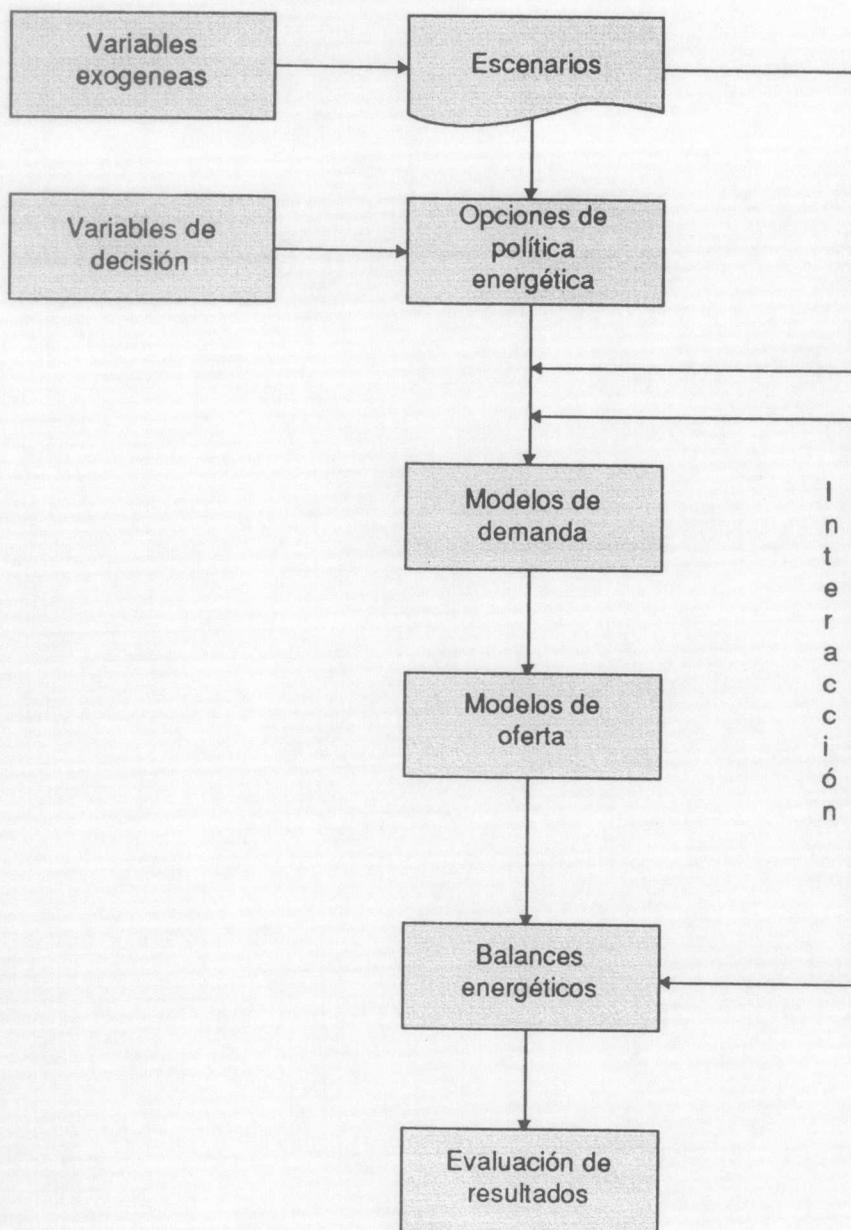


FIGURA 2. Estructura del planeamiento energético.

- iii) **Evaluación de tecnologías:** definido el o los escenarios más importantes se elabora un "ranking" entre las diversas tecnologías basado en criterios como seguridad en el abastecimiento, economía de producción, protección del ambiente, contribuciones energéticas de cada tecnología al sistema, etc.
- iv) **Definición de la estrategia de desarrollo energético:** la estrategia se define de acuerdo con ciertos objetivos fundamentales determinados por factores como conservación energética, promoción de energías renovables, mejora en la explotación de recursos propios, promoción del uso de algún tipo particular de energía, etc.

MODELACION PROPUESTA

La modelación que se propone tiene dos variables independientes de entrada determinadas exógenamente y que son la demanda de Energía Eléctrica y la Prospección del Recurso Eólico. El resto de la información de entrada, como proyecciones de largo, mediano y corto plazo son en general interactuantes entre sí y provienen de políticas globales adoptadas, de evolución tecnológica con cambios sociológicos involucrados, de nivel macroeconómico, etc., por lo que el contexto global puede ser considerado como un modelo mixto técnico-económico.

A continuación se describen brevemente cada uno de los aspectos que condicionan el comportamiento del modelo bajo estudio, que se muestra en la figura 3.

Descripción del modelo agregado

Demanda de energía eléctrica: para su estimación se emplean modelos econométricos, modelos de proceso o bien mixtos, dependiendo del grado de información disponible.

- **Prospección del recurso:** en primer lugar debe realizarse una prospección acabada del recurso en lo que se denomina un mapa eólico nacional, contemplando instalaciones permanentes de estaciones de medida y registro. A partir de esta información es posible seleccionar los sitios más favorables para la construcción de las granjas eólicas. Como subproducto de esta información, puede desplazarse ésta a otros modelos de uso de energía eólica, como por ejemplo bombeo de agua.

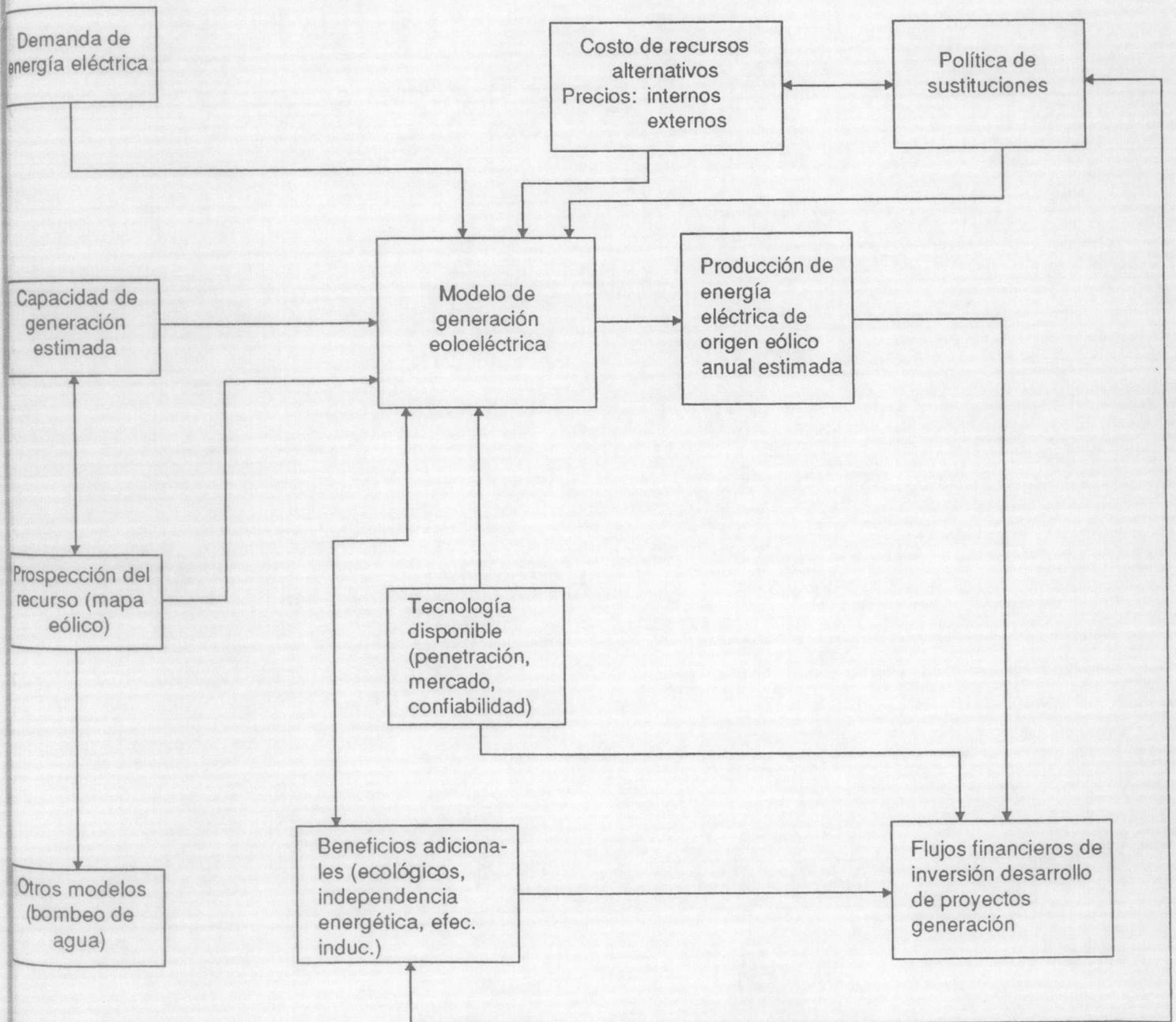


FIGURA 3. Modelo agregado (factores que intervienen y relaciones entre ellos).

- **Capacidad de generación estimada:** con los datos de velocidad promedio y frecuencia de los vientos en los sitios seleccionados se realizan las primeras estimaciones de la capacidad de generación de la forma siguiente:

$$E = 0,15 \pi R^2 V^3 T \text{ [wh]} \quad \text{Ecuación 2}$$

- Donde:
- E : energía generada en el tiempo T: (anualmente 8760 horas)
 - R : radio del rotor [m]
 - V : velocidad promedio del viento en el sitio de interés [m/s]
 - T : tiempo en horas

- **Beneficios adicionales:** en este submodelo se presentan en forma agregada las siguientes consideraciones:

- i) **Impactos ecológicos:** la energía eólica es un tipo de energía limpia y como único subproducto contaminante genera ruido. Este nivel de ruido es función de la tecnología escogida, del tamaño del rotor y decae en función de la distancia, su efecto se puede estimar empíricamente como:

$$NR = Ae^{-bd} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- NR : nivel de ruido audible
- A : coeficiente que depende del tamaño del rotor
- b : coeficiente diferenciado para el tipo de tecnología (eje vertical u horizontal)
- d : distancia de la instalación en hectómetros.

Los impactos ecológicos deben contemplar la disminución de la polución térmica por reemplazo de la generación de este tipo y de pérdidas de áreas cultivables o bosques naturales por inundación en el caso de centrales hidráulicas.

- ii) **Independencia energética:** este punto aparece estrechamente ligado con una política de sustituciones. Esta variable de escenario, que representa la voluntad del país de independizarse de importaciones de

combustibles tradicionales, hará más rentables los proyectos que utilicen energías primarias disponibles internamente y condicionen la evolución energética nacional.

- iii) **Efectos inducidos:** en este aspecto debe cuantificarse la potencial participación de la industria nacional en el suministro de piezas, partes y accesorios; el desarrollo de una capacidad ingenieril de proyectos, avances de la tecnología nacional y la eventual absorción de mano de obra en la ejecución del proyecto y de las obras de infraestructura anexas.

- Costo de recursos alternativos: en este submodelo, dependiendo de los beneficios adicionales (independencia energética) a través de la política de sustituciones, deben incorporarse, mediante escenarios específicos, los costos esperados de los recursos alternativos (combustibles fósiles) tanto en lo relativo a precios internacionales como a precios internos contemplando su evolución dinámica en el tiempo.

- Tecnología disponible: se han considerado como fuertemente ligados entre sí la tecnología disponible con su producción a escala (impacto en los precios, modelable como una curva de aprendizaje en US\$/kw), con la confiabilidad que muestran los diseños y su penetración en el mercado.

- **Producción de energía eléctrica anual estimada:** submodelo que determinará los aportes al sistema interconectado, estimando los ahorros en generación térmica convencional o en recurso hidráulico no utilizado.

- **Flujos financieros de inversión y desarrollo de proyectos de generación eólica:** en este punto es de singular importancia considerar algunos incentivos al sector privado, como por ejemplo: exenciones de impuestos por un lapso determinado de años, subsidios acordados al precio de compra de la energía generada por autoprodutores y seguridad de compra por el sistema interconectado nacional. Estos incentivos, de tipo legal y permanentes, permiten que la rentabilidad de los proyectos mejore y que

éstos sean competitivos con los de tecnologías convencionales e interesen al sector privado en la generación eólica.

Descripción del modelo de generación eolieléctrica

El diagrama de flujo se muestra en la Figura 4 y los pasos que contempla se describen brevemente:

1. La demanda de energía eléctrica por área geográfica se determina exógenamente y se considera información de entrada al modelo. Para su estimación se utilizan modelos económicos, de proceso o bien mixtos, dependiendo del grado de información existente.
2. La disponibilidad del recurso eólico debe determinarse exógenamente, aunque la prospección de mediano plazo aparece en un lazo de decisión lógica dentro del modelo propuesto. Debe necesariamente determinarse la disponibilidad de los recursos para sitios específicos y dentro de lo posible para plazos relativamente largos (ojalá sobre 10 años de información) ya que si bien es cierto el recurso eólico es muy aleatorio en forma instantánea, en el largo plazo muestra características mucho más determinísticas y la predicción de su disponibilidad puede hacerse con un alto grado de certeza a nivel agregado, (mensual-anual).
3. A partir de la información anterior, se puede describir el **comportamiento** que tiene el viento en un sitio, utilizando por ejemplo un histograma de velocidad del viento con respecto a su duración en horas, como sigue:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n t_i v_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad \text{Ecuación 4}$$

- Donde:
- V : velocidad promedio del viento en el lugar bajo estudio
 - v_i : punto medio de i^{és} intervalo de velocidad de viento
 - t_i : frecuencia de ocurrencia del i^{és} intervalo
 - n : número total de intervalos.

En función de lo anterior se puede estimar la densidad de la potencia disponible en w/m², como:

$$P/A = \frac{\rho V^3}{2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Es usual aproximar los histogramas por curvas suaves ajustadas por una función de densidad de probabilidad. Las más empleadas y que han mostrado un buen acoplamiento con la información experimental, son las de Weibull 2 parámetros, Rayleigh, máxima verosimilitud y Gauss inversa.

En particular la primera de las nombradas, emplea 2 parámetros: de forma y de escala que deben ser determinados de la información disponible de viento. El método de Rayleigh usa solo la velocidad media, determinada según lo establecido en la ecuación 4. La elección del método dependerá fuertemente de la región y para Latinoamérica resulta más recomendable el empleo de Weibull 2 parámetros.

4. El procesamiento de la información anterior permite predecir con buen grado de precisión el **comportamiento**, en el mediano y largo plazo, y **la disponibilidad** de energía eólica existente en un sitio específico.
5. Con la información anterior y la demanda ya estimada, se desarrolla el diseño teórico, contemplando en él la elección de tecnología: eje vertical u horizontal y área barrida por el rotor, determinándose el número de aparatos suficiente para cubrir la demanda, como una función de la tecnología de construcción, montaje, etc., disponible.
6. La tecnología disponible condiciona fuertemente la estrategia de generación que para acoplamiento a la red podrá ser velocidad variable-frecuencia constante (VVFC) o bien velocidad constante-frecuencia constante (VCFC). A este nivel se deben necesariamente considerar los costos que involucra cada opción y su confiabilidad.
7. A continuación se debe contrastar la disponibilidad de viento con la generación esperada de acuerdo con el diseño teórico, para rediseñar en caso de no calzar ambas y repetir el lazo cuantas veces se requiera, hasta lograr un acoplamiento natural entre ambos requerimientos.

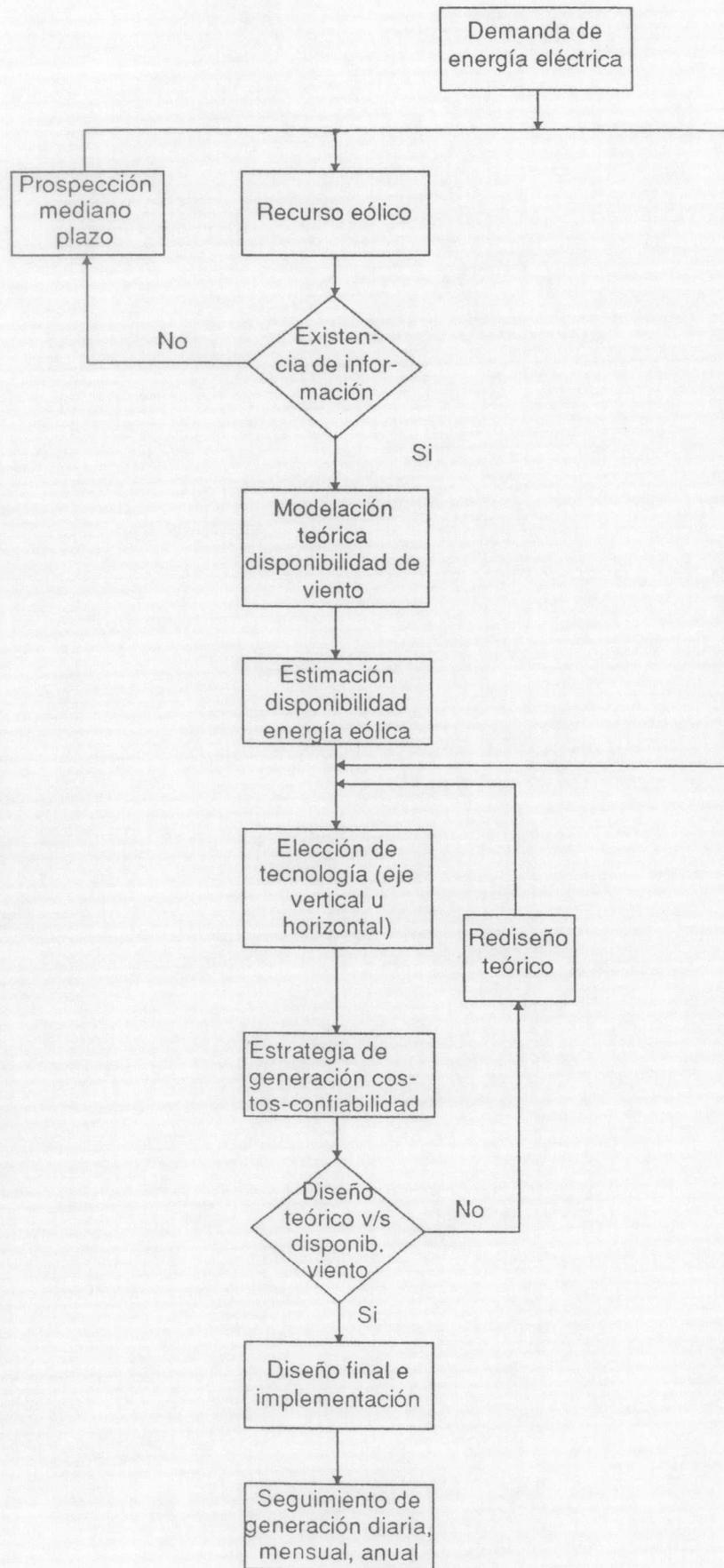


FIGURA 4. Modelo de oferta de energía eoloeléctrica conectada a la red pública.

Enseguida se procede al diseño final, contemplando en particular la torre, mecanismos de soporte y todos los accesorios que garanticen la operación y mantenimiento apropiados, con la implementación final del sistema; esto es, su construcción y pruebas finales.

Como última etapa, se debe realizar un seguimiento de la generación diaria, mensual y anual, para su contrastación con los valores esperados y poder evaluar eficiencias, tecnología, confiabilidad, aspectos económicos de ahorro de energéticos convencionales, etc., y utilizar esta información para la evaluación socio-económica final de la opción y decidir sobre su masificación.

CONCLUSIONES

1. Este trabajo constituye una primera aproximación a un problema de gran vigencia en la actualidad.
2. Existen antecedentes que muestran las importantes proyecciones de desarrollo del aprovechamiento de la energía eólica en la producción de la electricidad. Situación que no excluye a Latinoamérica en donde se aprecia cualitativamente que los recursos eólicos son abundantes y existen buenos lugares en donde es factible la instalación de granjas eólicas. En particular en zonas donde no existen otros recursos renovables aprovechables con fines energéticos, podría constituir una contribución altamente deseable a los sistemas interconectados, generando importantes ahorros en combustibles fósiles.
3. Para la implantación del modelo a partir del marco teórico propuesto, se requiere un plazo relativamente largo, son decisivas en este aspecto la cantidad y calidad de información existente sobre el recurso eólico.
4. Adicionalmente se deberán desarrollar en forma más desagregada y completa los submodelos de interacción que se han mostrado en forma sucinta en la descripción general.
5. El modelo contempla las principales variables de decisión y deberá contrastarse con su implementación en la práctica para complementarlo y corregir deficiencias que aparezcan en ese momento.
6. Si se consideran las tendencias actuales, la energía eólica deberá tener en breve plazo una importancia cada vez mayor en los sistemas de

planificación energética. Luego un modelo como éste, podrá eventualmente ser considerado dentro de uno más general que tienda al aprovechamiento de energías nuevas y renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Stephen, A. *Energy in the 21st century: a 20st century perspective*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**. Vol. Pas-104 N° 12, 1985, p. 3322-3323.
2. Torres, J. *Estrategias energéticas. Simposio sobre Energía motor o Cuello de Botella en el Desarrollo*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1985.
3. Carter, S. *Futuro energético: equilibrio oferta-demanda hacia el año 2000*. Colombia: Universidad de los Andes, 1986.
4. Carter, S. y Borgeaud, A. *Bases para un modelo de oferta de energía eoloeléctrica conectado a la red pública. XII Taller de ingeniería de Sistemas*, U. de Chile. Santiago, julio de 1989. p RT 23.
5. Simburger, E. *Utility industry outlook for emerging energy system*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**. Vol. Pas-104 N° 12, 1985 p. 3321-3322.
6. Allan, R. *Emerging energy technologies: an utility prospective*, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**. Vol. Pas-104 N° 12, 1985, p. 3326-3328.
7. Rath-Nagel and Voos, A. *Energy models for planning and policy assessment*. **European Journal of Operational Research** 8. 1981, p 99-114.
8. Lapillonne, B. *The Medee Approach and its Application to the Developing Countries*. Bruselas: ECSC, EEC, EAEC, 1983, p. 271-298.
9. Aveledo, M. *Modelo de previsión de la demanda de energía a largo plazo (MEDEE-S)*. **V Curso de Planificación Energética**, Vol. IV Modelización del Sector Energético, Quito 1987.

10. Sordo, V. *Modelo Markal. V Curso de Planificación Energética*. Vol. IV Modelización del Sector Energético, Quito 1987.
11. Frick, G. *Aplicaciones y diseños de aeromáquinas. Primera Semana de la Energía* Universidad de la Frontera, Temuco, 1983, p. 225-236.
12. Nelson, V. and Caldera, M. *Wind energy in Latin America. Conferencia Mundial de Sistemas*. Caracas, July 11-15, 1983.
13. Ramakumar, R. *Wind electric conversion utilizing field modulated generator system. Solar Energy*. Vol. 20 N° 2 1978, p. 109-117.
14. Moretti, P. and Divone, L. *Modern windmills. Scientific American*, Vol. 254 N°6., 1986 p. 88-89.
15. Estudio Nacional de Energía, ENE. *El planeamiento energético: aspectos metodológicos* Capítulo III, Colombia, 1982.
16. Otero, D. *Relaciones entre la energía y la economía*. Universidad de Los Andes, Colombia, 1983.