

## Capítulo 7

# ESTIMACIÓN DEL COSTO NIVELADO POR GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AEROGENERADORES: EVIDENCIA EMPÍRICA DE MÉXICO.

A. Santiago<sup>1</sup>, J. M. Sautto<sup>2</sup>, C.N. Bouza<sup>3</sup> y Alfredo Montaña<sup>4</sup>

1. *Profesor de la Unidad Académica de Matemáticas de la UAG, e-mail: [asantiago@uagro.mx](mailto:asantiago@uagro.mx)*
2. *Coordinador del Campus Costa Chica de la UAG, e-mail: [sautto1128@yahoo.com.mx](mailto:sautto1128@yahoo.com.mx);*
3. *Profesor de la Universidad de la Habana, Facultad de Matemática y computación. e-mail: [bouza@matcom.uh.cu](mailto:bouza@matcom.uh.cu)*
4. *Estudiante de la maestría en ciencias, área: estadística aplicada de la Unidad Académica de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Guerrero.*

## RESUMEN

A raíz de la reforma energética en nuestro país, se ha iniciado una discusión sobre las implicaciones positivas y negativas que esto puede tener en el ciudadano común y en los grupos interesados en invertir en generación de energía eléctrica y otras energías, usando lo que se ha denominado como energías limpias. En el presente trabajo se hace una valoración monetaria de la generación de energía eléctrica usando energía eólica y se estudia el caso de la generación de energía eléctrica en la zona del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Se presentan resultados sobre estimación de costos de generación, mediante distintos métodos de estimación, basados en la metodología de costos nivelados de producción de energía eléctrica. En el presente trabajo se han usado los métodos EPITRAG y el desarrollado por el CREE y, a partir de ellos se estima la utilidad neta que obtiene las empresas trasnacionales interesadas en el tema.

**Palabras clave:** costo nivelado, generación eólica de electricidad, Tehuantepec.

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 El problema de investigación.

Ante la nueva reforma energética, se han elaborado distintas conjeturas en torno a los posibles beneficios, o inconvenientes, de abrir la generación de energías tradicionales y limpias en el país. La Secretaría de energía (SENER) y la actual administración federal, ha establecido como prioridad la transición energética rumbo a una generación y

consumos más limpios<sup>1</sup>. Para conseguirlo se ha promovido el desarrollo de un nuevo marco normativo que permita la difusión de información estratégica, así como la cooperación entre el Gobierno Federal y la iniciativa privada. Los beneficios que se espera obtener son mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, contribuir a la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, propiciando con esto un impacto positivo en la seguridad energética de México.

Hasta ahora, la generación eléctrica a partir de energías limpias en México a febrero del 2012, según datos de la CFE, la realizaban 204 centrales en operación y en construcción, principalmente en Oaxaca y Veracruz, con proyectos eólico y bioenergéticos, respectivamente. La producción global de electricidad en México, es de apenas 8.7%, muy distante de EUA (28.7%). Al 2026 se pretende aumentar la producción global de electricidad, utilizando energías limpias, al 35%, sobre todo porque México tiene una posición privilegiada en lo que se llama “cinturón solar” que lo ubica entre los principales países con mayor potencial solar en el mundo<sup>2</sup>.

El presente trabajo de investigación, a partir del análisis de las distintas experiencias en este campo y de las posibles implicaciones que la nueva reforma energética tendrá sobre esta región de la costa del pacífico sur, con un potencial inexplorado de energía eólica, fotovoltaica, solar y minihidráulica, esperamos evaluar las experiencias actuales en el campo de las energías limpias, evaluar el impacto económico y social en la región de influencia e identificar las potencialidades de estos tipos de energía para la generación, principalmente, de energía eléctrica. Centramos nuestra atención en las dos primeras, considerando el costo nivelado de producción eléctrica a partir de diversos estimadores propuestos en la literatura, ver por ejemplo Alonso, G. et al. 2006, NRDC 2012, Escudero, J. M. 2008 y otros, que consideran estimadores deterministas. En el presente trabajo utilizamos tales estimadores proponiendo una estructura de modelo estadístico, estimando su media y varianza.

## **1.2 Objetivos del estudio.**

### **1.2.1 General.**

Evaluar las distintas experiencias de empresas de generación de energías limpias - eólica- en la región y su impacto en el desarrollo económico y social de la región.

### **1.2.2 Específicos.**

- Estimar el costo nivelado de producción eléctrica para un aerogenerador, la utilidad bruta y neta
- Estimar, a partir de un estudio de opinión, el potencial impacto social que se genera en la región por la instalación de un sistema eólico.
- Estimar, a partir de un estudio de opinión, el potencial impacto económico que se genera en la región por la instalación de un sistema eólico.
- Estimar, a partir de un estudio de opinión, el potencial impacto al medio ambiente que se genera en la región por la instalación de un sistema eólico.

---

<sup>1</sup> “Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026”, SENER, México.

<sup>2</sup> SENER/AGM

- Comparar los resultados del estudio de impacto con las estimaciones de costo de generación de energía eléctrica con un sistema eólico.

## 2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

La reforma energética abrió nuevas expectativas sobre el desarrollo económico y social en el país. Junto a estas expectativas se abrió también un debate de hasta donde abrir la inversión extranjera en el sector energéticos, sobre todo en lo que se refiere a las denominadas “energías limpias”. Por supuesto, como en toda reforma constitucional, existen voces opositoras y aquellas que se pronuncian a favor. Los impulsores de la reforma energética han planteado los objetivos siguientes:

- (i) Mejorar la economía de las familias: Bajarán los costos de los recibos de la luz y el gas. Al tener gas más barato se podrán producir fertilizantes de mejor precio, lo que resultará en alimentos más baratos.
- (ii) Aumentar la inversión y los empleos: Se crearán nuevos trabajos en los próximos años. Con las nuevas empresas y menores tarifas habrá cerca de medio millón de empleos más en este sexenio y 2 y medio millones más para 2025, en todo el país.
- (iii) Reforzar a Pemex y a CFE: Se le dará mayor libertad a cada empresa en sus decisiones para que se modernicen y den mejores resultados. Pemex y CFE seguirán siendo empresas 100% de los mexicanos y 100% públicas.
- (iv) Reforzar la rectoría del Estado como propietario del petróleo y gas, y como regulador de la industria petrolera.

La reforma energética también es una Reforma Verde, que favorecerá una mayor inversión en el desarrollo tecnológico y la adopción de fuentes de energía menos contaminantes y de bajo costo, como la solar, la eólica y el gas.

Algunos elementos vertidos en el debate son:

- Hoy en día los mexicanos pagamos tarifas eléctricas, en promedio, 73% más caras que en EEUU.
- En los últimos dos años hemos llegado a importar gas natural hasta en 19 dólares, de países como Nigeria y Qatar, cuando en México podríamos producirlo en 3 dólares.
- En la última década el desarrollo del gas natural en EEUU les ha permitido crear un millón setecientos mil empleos.
- En 2012, EEUU contaba con 137 pozos en aguas profundas del Golfo de México, mientras que nosotros solamente hemos perforado 6.
- En 2012, EEUU había otorgado más de 9,100 permisos para perforar pozos de gas natural en rocas de lutitas, mientras que en México perforamos solamente 3.
- Tras su proceso de Reforma Energética, Colombia logró reducir la tasa de desempleo de 17 a 11%.
- Entre 2003 y 2012 los ingresos petroleros en Colombia, como porcentaje del PIB, crecieron en 80%.

- Entre 2000 y 2012 los ingresos de Brasil por concepto de regalías petroleras se duplicaron.
- Estimaciones conservadoras indican que en México tenemos en el subsuelo más de 140 billones de pies cúbicos de gas natural, sin explorar, que aún no hemos comenzado a aprovechar. Esto equivale a más del doble de las reservas totales de gas natural del país.
- Cálculos conservadores indican que en aguas profundas tenemos 26 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente sin explorar.
- En suma la riqueza potencial que México tiene en campos de aguas profundas y lutitas es de 87 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente, lo que representa el 75% de los recursos prospectivos con los que cuenta el país.
- El gas natural es el energético fósil menos contaminante de bajo costo al que actualmente tenemos acceso.
- El gas natural es aproximadamente 30% menos contaminante que el combustóleo y 40% menos contaminante que el carbón.
- En términos de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sustituir combustóleo por gas natural en la generación de energía eléctrica equivale a retirar la mitad de los autos que actualmente circulan en la Ciudad de México, es decir 2.3 millones.
- De los 750 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> que anualmente lanzamos a la atmósfera: el 25% proviene del transporte, el 17% de la industria y el 18% de la generación de electricidad.
- Se estima que en EEUU esta revolución genere ahorros en los próximos 3 años de mil dólares anuales por hogar.

Por otro lado, los opositores a las reformas afirman que se trata de un engaño, toda vez que es falso que se mejore la economía de las familias, al menos no en las regiones donde se impulsan proyectos de inversión cobijados por las reformas, y si hay derrama económica en las regiones es marginal, los empleos que se ofrecen a los residentes locales son los de menor calificación.

Dentro de este marco general, más allá de la disputa de hasta donde las reformas al marco legal y de la constitución, este estudio tiene como pretensión valorar el capital humano y social existente en la región, que posibilite un despegue económico regional. Establecer los impactos económicos y sociales que en materia de generación de energías limpias puede tener en la región más pobre y atrasada tecnológicamente del país, y establecer alternativas de políticas públicas que deban implementarse en la región con la finalidad de lograr los mejores impactos en el desarrollo económico sustentable y con una distribución justa de la riqueza que se genere; por supuesto, esto último escapa a nuestras manos porque corresponde a los tomadores de decisiones impulsar ese tipo de políticas.

### 3. METODOLOGÍA

Se propone una metodología sustentada en tres ejes fundamentales. Primero un diagnóstico de gabinete sobre los distintos estudios realizados sobre las experiencias de generación de energías limpias en distintas partes del país con compañías extranjeras (españolas en el caso del Istmo de Tehuantepec) y los intentos fallidos en el Estado de Guerrero sobre energía fotovoltaica. En esta primera fase se determinarán las distintas apreciaciones sobre estas experiencias y se analizarán las políticas públicas sobre las que se apoyaron.

Se sabe que cada tecnología usada para producir electricidad tiene características específicas, entre las que podemos mencionar: el tiempo de construcción, eficiencia, costo diferente de inversión, vida útil, etc. Debido a estas diferencias es muy difícil realizar una comparación entre tecnologías diferentes considerando solo una de estas características.

Debido a que pretendemos estudiar el impacto económico de cada una de estas tecnologías para generar energía eléctrica, debemos hacer una comparación de estas tecnologías entre sí y su contribución individual y en conjunto al desarrollo socio económico regional.

Para realizar comparaciones entre las diferentes tecnologías se utilizará la metodología del costo nivelado, la cual permite cuantificar el costo unitario de la electricidad (en kWh) generada durante toda la vida útil de la central. Como se trata de un valor promedio, esto posibilita la comparación inmediata de estos costos entre diferentes tipos de tecnologías de generación, en nuestro caso, la convencional, la fotovoltaica y la eólica.

La metodología de costo nivelado considera la energía eléctrica total que la planta producirá durante su vida útil y esta cantidad se divide entre el costo total de inversión (considerando la tasa de interés y el flujo de efectivo durante todo el tiempo de construcción) más los costos de generación, operación y mantenimiento, todo a valor presente.

Esta metodología toma en cuenta que el costo de instalación está afectado por la tasa de interés aplicada a la inversión y por el flujo de efectivo durante el tiempo de construcción.

El costo total nivelado es la suma del costo nivelado de inversión y el costo de producción. Este último es el generado durante la vida económica de la planta e incluye el costo nivelado de combustible y costo nivelado de operación y mantenimiento.

En la literatura podemos encontrar algunos procedimientos que nos ayudan en la estimación, según la presente metodología.

#### 3.1 Costo nivelado de energía.

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) la metodología de costos nivelados, para el caso de energía nuclear, permite comparaciones entre diferentes tecnologías, cuantificar el costo unitario de la electricidad generada (el kWh) durante la vida de la central nuclear, permite una comparación inmediata con el costo de otras tecnologías alternativas y considera la generación total de electricidad durante toda la vida útil de la planta.

Esta metodología toma en cuenta que el costo de instalación (overnight cost) está afectado por la tasa de interés aplicada a la inversión y el flujo de efectivo durante el tiempo de construcción.

Por lo tanto, el Costo Total Nivelado (CTNG) es la suma del costo Nivelado de Inversión (CNI), que es el costo generado durante el tiempo de construcción y el costo de producción, generado durante la vida económica de la planta, que incluye el Costo Nivelado de combustible (CNC) y el Costo Nivelado de Operación y Mantenimiento (CNO&M).

Por lo anterior, el cálculo de los Costos Nivelados de Energía (Levelized Costs of Energy, LCoE o LEC) están definidos por la siguiente integral de tiempo en donde, para cada año “t”:

$$LEC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

$I_t$ = gastos de inversión en el año t,  $M_t$ = gastos de operación y mantenimiento,  $F_t$ = gastos de combustibles,  $E_t$ = electricidad generada,  $r$ = tasa de descuento y  $t$ = tiempo de vida de la planta.

Otras variables que se incorporan al cálculo del LCoE:

- La degradación prevista de la planta (fuente: información estadística del productor)
- La eficiencia de la misma (fuente: información técnica del productor)
- El costo de la entrega de energía (por ejemplo, la distancia de la planta del grid o del centro de consumo)
- El factor de capacidad (capacity factor) y potencia de la planta.
- El “peso” de los impuestos a lo largo del tiempo de vida (taxlife)

El resultado final (el LCoE) puede fuertemente modificarse en función de estas variables, además de depender directamente los 4 tipos de costos propios asociados a la planta: inversión inicial + mantenimiento + operación + dinero.

### 3.2 Otros métodos para el cálculo de costos nivelados.

Consideraremos en seguida otros métodos para el cálculo del costo nivelado.

Uno de los problemas más serios en los estudios de Factibilidad Técnica - Económica de Centrales Eólicas- está basado en la determinación exacta del cálculo del costo del kWh generado por dicha central. Para tal fin se detalla a continuación algunos de los métodos utilizados por las compañías de electricidad y la industria de la energía eólica para determinar el costo del kWh generado por un sistema de conversor de energía eólica.

### 3.2.1 Método Epritag.

El mismo es utilizado por el “Electric Power Research Institute”. Este método da un costo nivelado, considerando el valor presente de la inversión total y calcula los flujos de gastos en el tiempo, repartiendo los mismos en cuotas iguales todos los años. Es decir que convierte flujos de gastos desiguales en flujos constantes equivalentes. En forma simplificada tiene la expresión siguiente:

$$COE = FCR * \frac{CI}{8760CF} + OM$$

Donde:

COE = Costo de la energía generada en US\$/kWh

FCR = Factor o cargo fijo de gastos. Considera un valor presente de servicios de deuda, retorno de capital, tasas de interés e impuestos, y seguros.

CI = Costo de inversión. Siendo el monto total de la inversión llave en mano, expresado por unidad de potencia (US\$/kW).

CF = Factor de capacidad. Relación entre la energía promedio anual estimada y la que hubiera producido a la potencia nominal del aerogenerador.

OM = Costo directos de operación y mantenimiento por unidad de energía (US\$/kWh).

Pueden nombrarse las siguientes limitaciones a éste método:

- Asume la amortización de la deuda en un tiempo igual a la vida útil de la instalación.
- No permite considerar un retorno variable del monto de contado y del monto adeudado, como tampoco de los costos variables.

### 3.2.2 Método desarrollado por el Dr. Bastianón.

El método desarrollado por Bastianón es un método sencillo por el cual calcula en forma aproximada el costo de generación de un sistema conversor de energía eólica, y su expresión es:

$$CE = \frac{C}{Ea} \left[ \frac{i}{1 - (1 + I)^{-N}} \right] + OM$$

Donde:

CE = Costo de producción en US\$/kWh

Ea = Energía media generada en un año en kWh.

i = Interés anual sobre el capital.

N = Años de vida útil de la instalación.

OM = Costos de operación y mantenimiento en US\$/kWh.

C = Costo de construcción en US\$.

Algunas limitaciones de este método son las siguientes:

- Asume la amortización de la deuda en un tiempo igual a la vida útil de la instalación.
- No permite considerar un retorno variable del monto de contado y del monto adeudado, como tampoco de los costos variables.

### 3.2.3 Método desarrollado por el CREE.

Este método, desarrollado por el Centro Regional de Energía Eólica (CREE), es utilizado en los estudios de factibilidad económica de centrales eólicas, tiene en cuenta el plazo de amortización de la instalación, siendo su expresión la siguiente:

$$COE = \frac{CI}{E} * (a + OM) = EIC * b$$

Donde:

COE = Costo de generación de corriente eléctrica en US\$/kWh.

CI = Costo total de inversión de la instalación, llave en mano, en US\$.

E = Estimación de la energía anual producida por un aerogenerador. Dicha estimación surge del modelo matemático MATWASP menos un 10%.

OM = Costos de operación y mantenimiento en US\$/kWh. Dichos costos surgen del valor del contrato anual de mantenimiento preventivo, realizado con la empresa proveedora del equipamiento; más el cálculo de repuestos necesarios anualmente estimado para un plazo de 20 años; más el valor del seguro anual. De no contar con dichos montos se estima en un 2% de CI.

a = Tasa de anualidad de los costos de capital.

EIC = Costos específicos de energía.

b = Costos anuales de servicio.

Esta fórmula toma en cuenta el plazo de amortización del equipamiento y la depreciación del mismo.

La tasa de anualidad puede calcularse de la siguiente forma:

$$a = \frac{q^n * (q - 1)}{q^n - 1}$$

Como puede observarse la tasa de anualidad depende del interés  $i$ , dado que  $q = 1 + i$ .

Cualquiera de los métodos mencionados puede utilizarse para la estimación del costo nivelado de generación eléctrica y, en general, pueden usarse para estimar el costo de producción de cualquier mercancía, siempre y cuando se cuente con la información que el método demanda.

Debido a lo anterior y en vista que existe poca información pública disponible sobre los costos de generación eléctrica y sobre la utilidad bruta y neta que se obtiene a partir de un sistema de generación eléctrica utilizando los métodos convencionales o los llamados “de energías limpias”, en el presente trabajo solo se presentan las estimaciones obtenidas por dos métodos, el usado por el CREE y el método EPITRAG.

### 3.3 Estructura de los estimadores de costo nivelado.

Se revisó la estructura de los estimadores de costo nivelado de producción de energía eléctrica con objeto de hacer una comparación entre ellos. Se compararon el método Epritag, utilizado en sus estimaciones por “Electric Power Research Institute” y el método desarrollado por el Centro Regional de Energía Eólica (CREE) y que es utilizado en los estudios de factibilidad económica de centrales eólicas. Empezaremos por revisar la estructura de tales estimadores, en los cuales se observa que la mayoría de datos son constantes y solo CF es variable, toda vez que se trata de la proporción del tiempo que se mantiene en operación un aerogenerador durante el día y durante todo el año, toda vez que es el factor de capacidad de generación de energía eléctrica, que



puede variar según la velocidad de los vientos durante el día y durante todos los días del año. Entonces, el estimador del total COE, se obtiene a partir de la expresión

$$\text{COE} = K * \frac{1}{CF} + \text{OM}, \text{ donde } K = \text{FCR} \left( \frac{\text{CI}}{8760} \right) \quad (1)$$

Donde, COE = Costo de la energía generada en US\$/kWh, FCR = Factor o cargo fijo de gastos. Considera un valor presente de servicios de deuda, retorno de capital, tasas de interés e impuestos, y seguros. CI = Costo de inversión. Siendo el monto total de la inversión llave en mano, expresado por unidad de potencia (US\$/kW). CF = Factor de capacidad. Relación entre la energía promedio anual estimada y la que hubiera producido a la potencia nominal del aerogenerador y OM = Costo directos de operación y mantenimiento por unidad de energía (US\$/kWh).

La forma original del estimador es

$$\text{COE} = \text{FCR} * \frac{\text{CI}}{8760\text{CF}} + \text{OM} \quad (2)$$

Lo cual muestra evidencia de que se trata de estimadores del tipo razón, por lo que, según lo establecido en la teoría, es posible estimar su media y varianza. Algunos procedimientos para estimar el valor esperado y varianza del estimador se pueden consultar, por ejemplo, en Mood (1974), Hansen, Hurwitz and Madow (1953), Sampath (2001), Fuller (2009), Särndal, et al. (2001) y Sarjinder Singh (2003).

Adaptando estos estimadores a nuestro caso, se obtiene que dado que los estimadores (1) y (2) son del tipo razón, aunque con una sola variable, que es una proporción  $p = CF$ , la media estará dada por

$$E \left[ \frac{K}{Y} \right] \approx \frac{K}{\mu_Y} + \frac{K}{\mu_Y^3} \text{var}[Y] \approx K \left( \frac{1}{\mu_Y} + \frac{1}{\mu_Y^3} \text{var}[Y] \right)$$

Dado que  $Y = CF = P$

$$E \left[ \frac{K}{Y} \right] \approx \frac{K}{\mu_Y} + \frac{K}{\mu_Y^3} \text{var}[Y] \approx K \left( \frac{1}{P} + \frac{1}{P^3} PQ \right) \approx K \left( \frac{1}{P} + \frac{Q}{P^2} \right) \approx K \left( \frac{P + 1 - P}{P^2} \right) \approx \frac{K}{P^2}$$

y su estimador será

$$E \left[ \widehat{\frac{K}{Y}} \right] \approx \frac{K}{\widehat{p}^2}$$

Donde  $K = \text{FCR} \left( \frac{\text{CI}}{8760} \right)$ , como se ha definido antes.

La varianza aproximada para una razón de variables aleatorias está dada por

$$\begin{aligned} \text{var} \left[ \frac{X}{Y} \right] &\approx \frac{1}{\mu_Y^2} \text{var}[X] + \frac{\mu_X^2}{\mu_Y^4} \text{var}[Y] - \frac{\mu_X^2}{\mu_Y^6} (\text{var}[Y])^2 + \frac{1}{\mu_Y^4} (\text{cov}[X, Y])^2 \\ &\quad + 2 \frac{\mu_X}{\mu_Y^5} \text{var}[Y] \text{cov}[X, Y] \end{aligned}$$

y adaptando este resultados al caso que nos ocupa se obtiene

$$\text{var} \left[ \frac{K}{Y} \right] \approx \frac{1}{P^4} PQ - \frac{1}{P^6} (PQ)^2 \approx \frac{Q}{P^3} - \frac{Q^2}{P^4} \approx \frac{PQ - Q^2}{P^4} = \frac{Q(P - Q)}{P^4}$$

$$V\left(K * \frac{1}{P} + OM\right) = K^2 V\left(\frac{1}{P}\right) \approx K^2 \left[\frac{V(P)}{P^2}\right] \quad (7)$$

Y su estimador

$$\hat{V}\left(K * \frac{1}{P} + OM\right) = K^2 \hat{V}\left(\frac{1}{P}\right) \approx K^2 \left[\frac{\hat{V}(P)}{\hat{P}^2}\right] \quad (8)$$

Es posible considerar el estimador para distintos diseños de muestreo, aunque eso se hará en trabajos posteriores.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con la información disponible, ha sido posible aplicar los métodos EPRITAG y C.R.E.E. para obtener los costos nivelados para generación de energía eléctrica en los parques eólicos. La tabla 1 y 2 muestran los resultados.

Tabla 1: Costo nivelado de producción de energía eléctrica usando el método EPRITAG.

| MW/h | COE (\$/kwh) | COE (us/kwh) | FCR (%) | CI (us/kwh) | CF    | OM (us/kwh) |
|------|--------------|--------------|---------|-------------|-------|-------------|
| 1    | 0.971716729  | 0.069408338  | 0.12    | 2000        | 0.439 | 0.007       |
| 2    | 0.534858364  | 0.038204169  | 0.12    | 1000        | 0.439 | 0.007       |
| 3    | 0.389235997  | 0.027802571  | 0.12    | 667         | 0.439 | 0.007       |

En esta tabla se observa que el costo de energía generada varía de \$0.97 (noventa y siete centavos MN) a \$0.39 (treinta y nueve centavos MN) por kwh generado, a medida que aumenta la capacidad del aerogenerador.

Estos costos incluyen la recuperación de la inversión incluyendo su tasa de interés, impuestos, seguros, mano de obra y demás gastos de administración.

A partir de estos cálculos podemos estimar la utilidad bruta por aerogenerador de 2000 kw de capacidad, por ejemplo. Sabemos que la tarifa de energía eléctrica para alumbrado público es de \$1.97 y que el F. P. de un aerogenerador es de 0.52 (para la zona del istmo de Tehuantepec), por lo que la producción anual será:  $2000\text{kw} \times (365 \text{ días/año}) \times (24 \text{ horas/día}) \times (0.52) = 9, 110,400 \text{ kw/año}$ . Por lo anterior, la utilidad bruta obtenida por venta de energía eléctrica producida por una aerogenerador será:  $9, 110,400 \text{ kw/año} \times \$1.97/\text{kw} = \$17, 947,488.00/\text{año}$ . Ahora, si el costo de producción es de \$0.535/kw, entonces el costo de generación de energía eléctrica por año será de  $9, 110,400 \text{ kw/año} \times \$0.535/\text{kw} = \$4, 874,064.00/\text{año}$  y la utilidad neta por aerogenerador será de:  $\$13, 073,424.00/\text{año}$ .

Tabla 2: Costo nivelado de producción de energía eléctrica usando el método C.R.E.E.

| MW/h | COE (\$/kwh) | COE (us/kwh) | CI        | E          | OM (us/kwh) | a    |
|------|--------------|--------------|-----------|------------|-------------|------|
| 1    | 0.9901       | 0.0707       | 2,000,000 | 3,591,600  | 0.007       | 0.12 |
| 2    | 0.4950       | 0.0354       | 2,000,000 | 7,183,200  | 0.007       | 0.12 |
| 3    | 0.3300       | 0.0236       | 2,000,000 | 10,774,800 | 0.007       | 0.12 |

Usando este método se puede apreciar que las estimaciones de costos son similares a las obtenidas con el método EPRITAG, obteniendo de manera análoga los cálculos se encontró que:

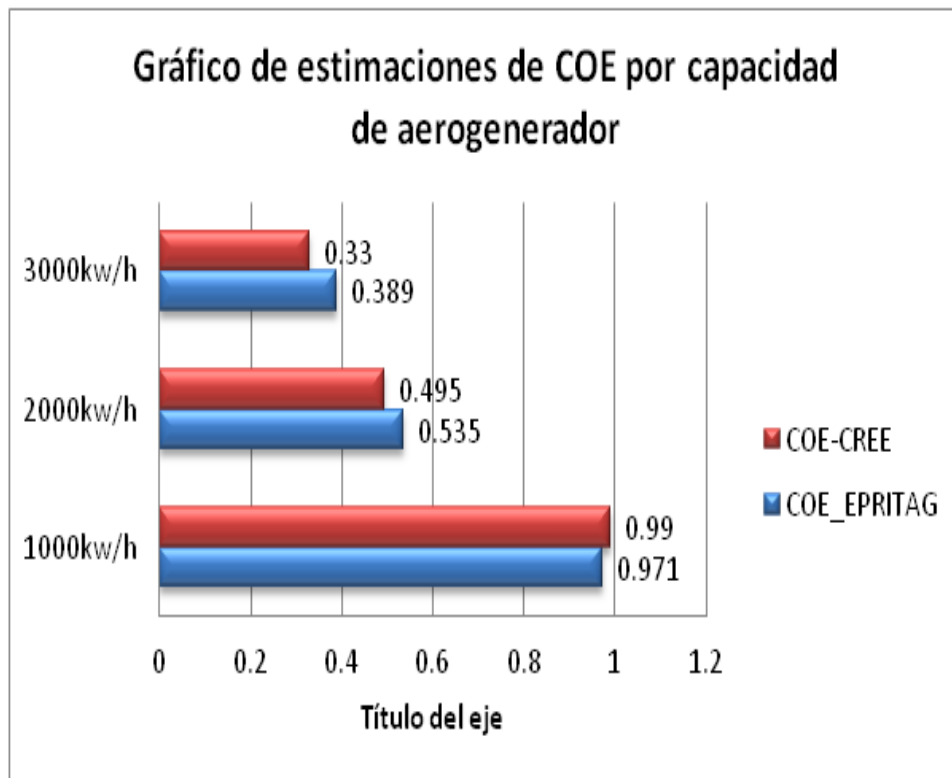
Utilidad bruta = \$17, 947,488.00/año. Costo de generación de energía eléctrica por año = \$4, 509,648.60/año. Utilidad neta por un aerogenerador al año = \$13, 437,840/año. Cálculos similares se pueden hacer para 1000kwh de capacidad y para 3000kwh. Los resultados se concentran en la tabla siguiente.

Tabla 3: Estimación de utilidad neta anual por capacidad de aerogenerador.

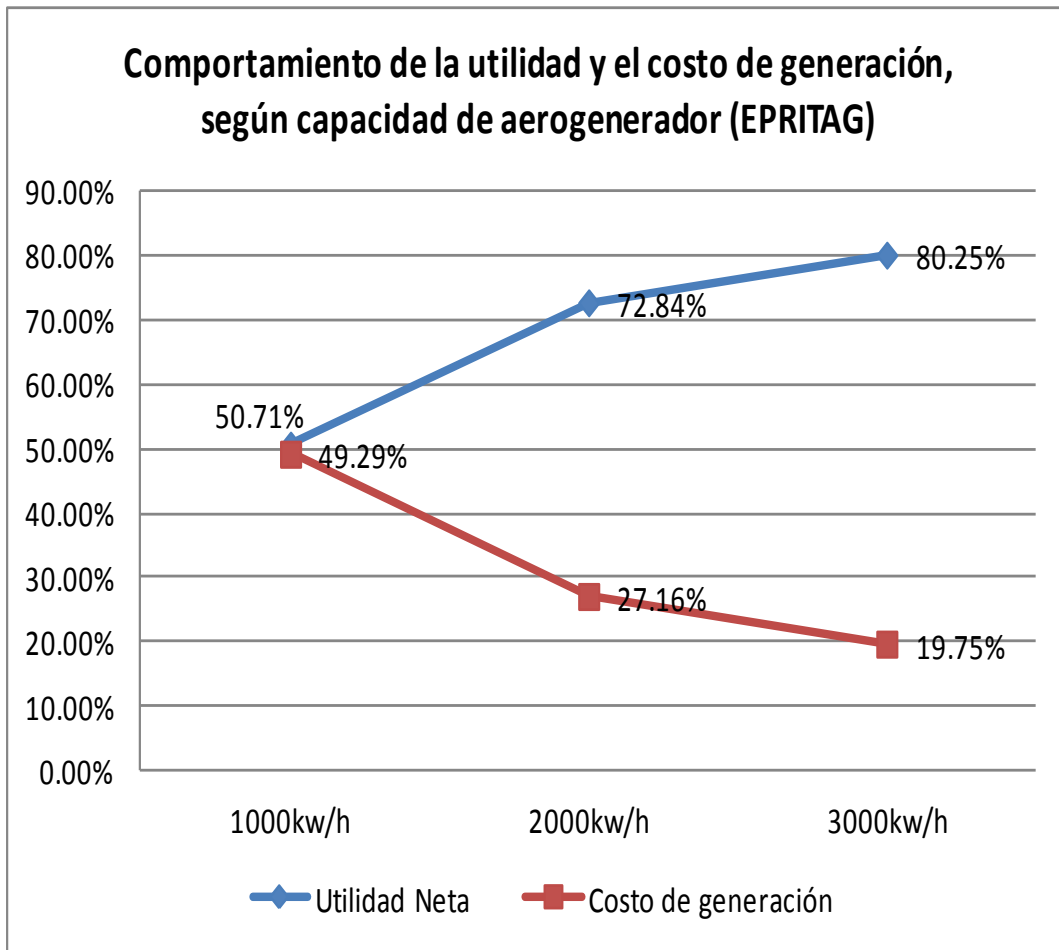
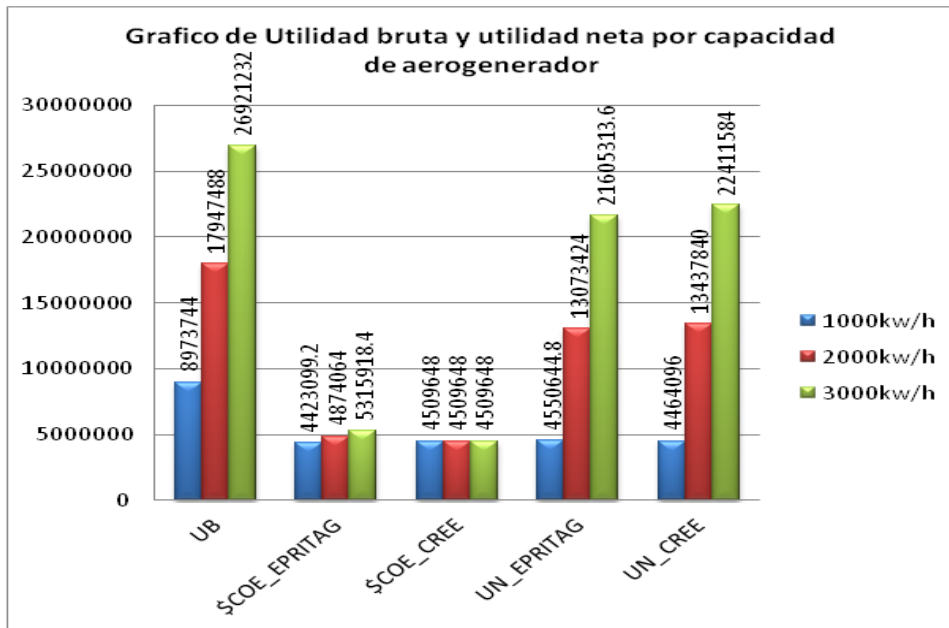
| Generador | COE_EPRITAG | COE-CREE | UB       | UCOE_EPRITAG | UCOE_CREE |
|-----------|-------------|----------|----------|--------------|-----------|
| 1000kw/h  | 0.971       | 0.99     | 8973744  | 4423099.2    | 4509648   |
| 2000kw/h  | 0.535       | 0.495    | 17947488 | 4874064      | 4509648   |
| 3000kw/h  | 0.389       | 0.33     | 26921232 | 5315918.4    | 4509648   |

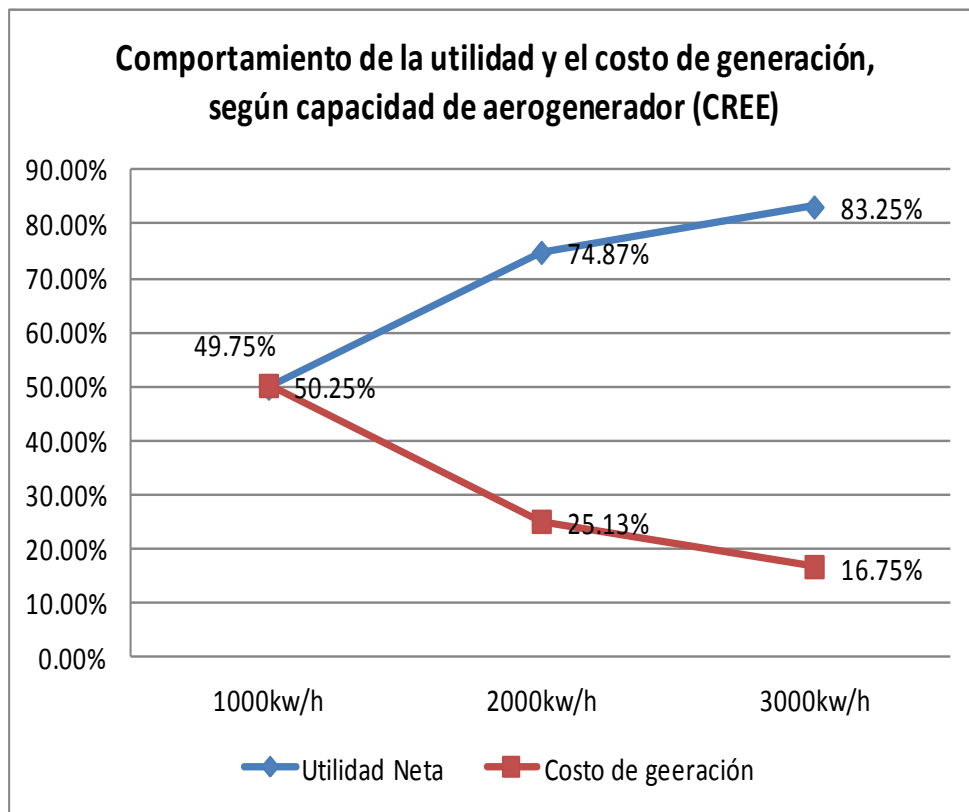
Tabla 4: Utilidad neta obtenida por aerogenerador según capacidad.

| Generador | UN_EPRITAG | UN_CREE  |
|-----------|------------|----------|
| 1000kw/h  | 4550644.8  | 4464096  |
| 2000kw/h  | 13073424   | 13437840 |
| 3000kw/h  | 21605313.6 | 22411584 |



Donde, UB= Utilidad bruta por venta de energía a \$1.97, UCOE\_EPRITAG = es la utilidad con el costo anual de producción calculado a partir de COE\_EPRITAG, UCOE\_CREE = es la utilidad con el costo anual de producción calculado a partir de COE\_CREE. A partir de estos resultados definimos la utilidad neta para cada costo nivelado como  $UN\_EPRITAG = UB - UCOE\_EPRITAG$  y  $UN\_CREE = UB - UCOE\_CREE$ .





## 5. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos muestran evidencia que el negocio de generación de energía eléctrica es altamente rentable para las empresas transnacionales que se han instalado en la zona del istmo de Tehuantepec. Para el ejemplo de cálculo considerado, que corresponde a una de las tarifas más bajas de venta de electricidad al público, el costo de producción eléctrica de un aerogenerador va de 25% al 27% de la utilidad bruta, por lo que la utilidad neta para la empresa será de 73% a 75% del total, para el caso de una aerogenerador de 2MGwh de capacidad.

La magnitud de este negocio seguramente nos da una idea del porqué de las dinámicas económicas, políticas y sociales en los distintos sectores interesados. Seguramente eso nos ayudará a explicar los cabildos para obtener concesiones, las prisas en la reforma energética, la criminalización de la lucha de grupos opositores, la cooptación de líderes sociales y políticos y, un largo etc.

## REFERENCIAS.

- [1] Almonacid B. Ana, Nahuelhual M. Laura. *Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, sur de Chile*. Agro Sur 37(2) 103-109: 2009
- [2] Alonso, G, Ramírez R. (2006). *Análisis de Costos Nivelados de la Generación de Electricidad en México*. Boletín energético 18.
- [3] Coviello M. *Energías Renovables en América Latina y el Caribe: buenas y malas noticias*. CEPAL-ONU
- [4] *Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026*. SENER, Gobierno Federal. México.

- [5] *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. Diario Oficial. SENER, Gobierno Federal. México, 2009.
- [6] Almonacid B. Ana, Nahuelhual M. Laura. Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, sur de Chile. *Agro Sur* 37(2) 103-109: 2009
- [7] Alonso, G, Ramírez R. (2006). Análisis de Costos Nivelados de la Generación de Electricidad en México. *Boletín energético* 18.
- [8] Coviello M. Energías Renovables en América Latina y el Caribe: buenas y malas noticias. CEPAL-ONU
- [9] Castillo Jara, Emiliano. Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el istmo de Tehuantepec. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, vol. 4. No. 12.
- [10] Carta González, José Antonio; Calero Pérez, Roque; Colmenar Santos, Antonio y Manuel-Alonso Castro Gil. Centrales de energías renovables. Editoriales UNED y PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2009.
- [11] Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026. SENER, Gobierno Federal. México.
- [12] Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Diario Oficial. SENER, Gobierno Federal. México, 2009.
- [13] Del Campo, M, Edelstein, N. La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad. *RIIT*, Vol. X. No.4. 2009.
- [14] Programa de obras e inversiones del sector eléctrico (POISE).CFE, 2007-2016. México. 2006.
- [15] Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión. Generación 2005. CFE, Subdirección de Programación. Gerencia de Evaluación y Programación de Inversiones. México. 2005.
- [16] Secretaría del Medio Ambiente. Norma Oficial Mexicana. NOM-081-SEMARNAT-1994, Contaminación por Ruido.
- [17] Henestroza OR. (2008). Desarrollo del proyecto eólico en la región del istmo de Tehuantepec. *Investigación y Ciencia*, uaa. 42: 18-21.
- [18] Elliot, D, et al. (2004). Atlas de Recursos Eólicos del estado de Oaxaca. Laboratorio Nacional de Energía Renovable. EUA, 138 pp.
- [19] Priego Cuevas, E. (2010). Escenarios Económicos para la construcción de un nuevo reactor nuclear en México. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- [20] Palacios, J.C., Alonso, G., Ramirez, R., Gomez, A., Ortiz, J., & Longoria, L.C. (2004). Levelized Costs for Nuclear, Gas and Coal for Electricity, under the Mexican Scenario. Recuperado de <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/840500>
- [21] Moreno Figueredo, C. (2007). Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica. La Habana, Cuba: CUBASOLAR.