



## vitecfv #51B. COSTOS DEL kWh FOSIL VS FV

DR.C. DANIEL STOLIK

29 AGOSTO 2021

### INTRODUCCIÓN

La relación entre el costo del kWh fósil vs FV es uno de los aspectos decisivos para argumentar la necesidad de lograr un gran y mayor aporte de la FV al cambio de la matriz eléctrica de Cuba conducente primeramente a la sustitución paulatina de los combustibles fósiles y, a mucho más largo plazo, a la eliminación total. Desde hace unos 40 años venimos siguiendo la evolución al respecto. En aras de no dilatar con un recuento histórico, analizaremos dos momentos:

- Periodo hasta 2011, contenido en este vitecfv # 51.
- La actualidad que se expondrá en el vitecfv # 52.

En este vitecfv # 51 reproducimos a continuación, integral y literalmente, la comparación entre el costo del kWh FV vs. Fósil en Cuba que expusimos en el año 2011 en el primer Taller Cuba FV. Se puede afirmar que, salvo algunos aspectos, la mayoría de los planteamientos, salvo algunos cambios, son actualmente válidos, no obstante han pasado 10 años, se cumplen algunos pronósticos, otros no, lo que merece hoy una importante actualización, así como una necesaria ampliación de la comparación, aspecto que brindaremos en el próximo vitecfv # 52. Esta versión 2011 fue también distribuida textualmente en la Señal FV # 56, por Grupo de Gestión del Conocimiento de la Dirección Técnica de la UNE.

---

### TEXTUAL DEL 2011

---

## COSTOS kWh FV VS. FÓSIL EN EL 2011.

### TEMA 16. PRIMER TALLER CUBA FV 2011

COSTOS DEL kWh FV Y DE LA "PARIDAD" EN CUBA

COSTO (USD) DEL kWh FÓSIL vs. kWh FV EN CUBA. . Daniel Stolik, Julio 30 / 2011.

**¿Cuánto cuesta en USD hoy (2011) realmente el kWh de fluido eléctrico en CUBA?**

El 17 de dic. El compañero Marino Murillo en la Asamblea Nacional dio los datos siguientes:

Costo del petróleo (en USD): \$ 500 / Ton (1)

Eficiencia: 340 Ton / GWh. (2)

Si 1 ton. métrica de petróleo = 7.33 barriles, el costo del barril será (500:7.33) algo mayor de:

**\$ 68 / barril** (3)

Este costo (3) debe ser el convenido y no el costo del petróleo venezolano del mercado internacional, que supera los \$ 100, en julio 28 del 2011, **\$ 107 / barril.** (4)

Multiplicando (1) y (2) obtenemos que el costo de 1 GWh. sea de \$ 170 000 (USD) y el kWh:

**\$ 0.17 por kWh** (5)

Posteriormente los colegas de la UNE nos informaron que los 17 cent. /kWh se refería al costo de la electricidad llevado hasta el cliente que tenía en cuenta otras perdidas.

Si convertimos a kWh los 5.71 Gigajoules que como promedio contiene 1 barril de petróleo crudo, obtenemos que el contenido energético calórico que contiene 1 barril será de:

**1586 kWh/barril** (6)

En Cuba los sistemas de generación eléctrica de base fósil tienen eficiencias y costos del kWh. diferentes (termoeléctricas a petróleo crudo, termoeléctricas a gas, electrógenos de fuel oil, electrógenos de diésel). Suponiendo que la eficiencia **promedio** sea del:

**33 %** (dato de la UNE) (7)

Obtenemos que por cada barril (33 % de 1586 kWh.) se producen, solo por quemar, unos:

**523 kWh** (eléctricos) / barril (8)

A \$ 68 barril el costo del kWh solo por quemar, dividiendo (3) entre (8), es de:

**\$ 0.13 / kWh.** (9)

**¡OJO!** Al costo solo por quemar, hay que añadirle los costos derivados de:

- INVERSIÓN INICIAL.
- TRANSPORTE
- ALMACENAMIENTO.
- PÉRDIDAS EN GENERACIÓN.
- PÉRDIDAS EN T- D.
- OPERACIÓN.
- MANTENIMIENTO.
- ACCIDENTES y ESCAPES.
- INVERSIONES PERIÓDICAS POR MODERNIZACIÓN.
- CONTAMINACIÓN Y DESTRUCCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.
- PARO Y GASTO POR ROTURAS Y REPARACIONES.
- PAROS POR AHORRO

Si \$ 0.17 / kWh es el costo total, entonces el costo añadido al “quemado”, (5) menos (9), es de:

**\$ 0.04 / kWh** (10)

Pero si tomamos un costo real actual que sea suficientemente lógico de unos \$ 100 / barril, entonces, dividiendo (4) entre (8), **solo por quemar** el costo sería de algo más de \$ 0.19 / kWh. Teniendo en cuenta el “añadido” (10), El costo hoy (2011) sería como mínimo de unos:

**\$ 0.23 / kWh** (11)

Hagamos los cálculos para conformar una tabla que relacione:

Eficiencia %	g / kWh	kWh/barril	?	Hoy Encarecimientos futuros		
				\$68 /barril	\$100 /barril	\$130 /barril

La densidad del petróleo varía entre 0.75 y 0.95 g/ml. Tomemos como promedio 0.855 g/ml

**855 g/litro** (12)

Un barril de petróleo tiene 158.98 litros, redondeamos a:

**159 litros** (13)

Multiplicando (12) y (13) obtenemos que un barril de petróleo tiene cerca de

**136 000 gramos (g)/barril** (14)

Dividiendo (14) entre (6) obtenemos: cantidad de gramos por cada kWh (**de contenido calórico**):

**85.75 g/kWh (calóricos)** (15)

Dividiendo (15) por la eficiencia en % (1ra. Columna), obtenemos los **g/kWh** (eléctricos), 2da. columna.

Dividiendo (14) entre **g/kWh** de la 2da. columna, obtenemos los **kWh/barril** (eléctricos) en la 3ra. columna.

Dividiendo distintos costos actuales y posibles futuros del barril \$ (**68, 100, 130, 160**) entre **kWh/barril** (eléctricos), de la 3ra. Columna, obtenemos los distintos **costos de cada kWh en centavos de USD.**

## COSTO DEL kWh EN CENTAVOS DE USD

### Encarecimiento con los años

Eficiencia %	g / kWh	kWh/barril	\$68/barril	\$100/barril	\$130/barril	\$160/barril
25 %	342	398	17	25	33	40
30 %	286	476	14	21	27	34
33 %	260	523	13	19	25	31
35 %	245	555	12	18	23	29
40 %	214	636	11	16	20	25

**COSTOS SOLO POR QUEMAR, SIN SUMAR GASTOS, PÉRDIDAS Y OTROS COSTOS ANTES RELACIONADOS.**

### CALCULO DEL COSTO DEL COSTO DEL kWh fotovoltaico (FV).

Radiación promedio en Cuba: **1825 KWh/m<sup>2</sup>/año**, teniendo en cuenta las perdidas tomemos la radiación solar utilizable en **1440 KWh/m<sup>2</sup>/año** y la duración del sistema FV en **25 años**.

AÑO	2011	2013	2015	2020	2025
<b>\$ USD/ kWp</b>	\$4000	\$3500	\$3000	\$2500	\$2000
<b>Centavos de USD</b>	11,1	9,7	8,3	6,9	5,5

**Costos que disminuyen más para duraciones del sistema FV > 25 años, que se irán alcanzando.**

Comparación: Eficiencia fósil del 33 % (259 g/kWh) y 25 años duración del sistema FV

	2011	2015	2020
*solo por quemar	\$100/barril	\$130/barril	\$160/barril
<b>Petróleo* cent/KWh</b>	<b>&gt; 19</b>	<b>&gt; 25</b>	<b>&gt; 31</b>
<b>FV cent/KWh</b>	<b>10</b>	<b>&lt; 9</b>	<b>&lt; 7</b>

Otros costos, como los de operación y mantenimiento son mucho más caros en combustibles fósiles que para la FV.

Los costos relacionados se basan en promedios, existe un rango de costos del kWh, unos por debajo (gas ciclo combinado, electrógenos fuel oil) y otros por encima (crudo en termoeléctricas, diésel en electrógenos), por lo que la estrategia de la paulatina sustitución debe comenzar por los fósiles más caros, a los más baratos les llegará también su turno en un futuro.

Si Cuba comercializa sus ahorros de consumo del petróleo a precio del mercado internacional, entonces este es el precio de referencia a utilizar y no el circunstancial de \$68 / barril.

El kWh de electricidad base a petróleo es el más caro de los combustibles fósiles, este es el caso de Cuba (> 90%), mientras que en el mundo la generación eléctrica en base a petróleo es < 3 %.

Si la producción eléctrica nacional es de unos 15 000 GWh / año y el 90% en base a petróleo, o sea, 13 500 GWh / año, entonces el costo nacional de esta generación eléctrica es de:

A \$ 68 / barril (\$0.17/kWh) unos **\$ 2 295 000 000 (USD)**.

A \$ 107/barril (\$0.24/kWh) unos **\$ 3 240 000 000 (USD)**.

**En un futuro** de generarse 20 000 GWh/ año, de acuerdo con el necesario desarrollo del país, de estar el barril a \$ 160 USD, o sea a  $> \$0.31$  /kWh, entonces el costo en divisas al país sería:

**$> \$ 6 200 000 000$  / año.**

**Es insostenible, hay que encontrar alternativas.**

**Apéndice: A pedido de muchos colegas brindamos a continuación ¿Qué es el Wp? y ¿Qué relación existe entre el Wp y el kWh?**

**El Wp (watt-pico) y el kWh (kilowatt-hora) FV (fotovoltaico)**

(kW es potencia, kWh es energía, 1 kW=1000 W).

Dr. Daniel Stolik

EL kWh FV SE PUEDE CALCULAR POR LA RELACIÓN ENTRE:

C( \$/m<sup>2</sup> ) Costo del sistema por m<sup>2</sup> (panel, inversores, resto del sistema, instalación)

η ( % ) Eficiencia del sistema FV (panel o módulo, pérdidas) en %

S (kWh. /m<sup>2</sup>/ año) Radiación Solar (efectiva) por m<sup>2</sup> al año.

T (años) Años de duración del sistema FV

$$\frac{C(\$/m^2)}{\eta(\%) \times S(kWh/m^2/año) \times T(años)} = C(\$/kWh)$$

(Los m<sup>2</sup> y los años se cancelan, quedando solo \$/kWh, costo del kWh de por vida del sistema).

PERO LA INDUSTRIA PRODUCE, OFERTA Y VENDE POR Wp (watt-pico) y NO POR m<sup>2</sup>

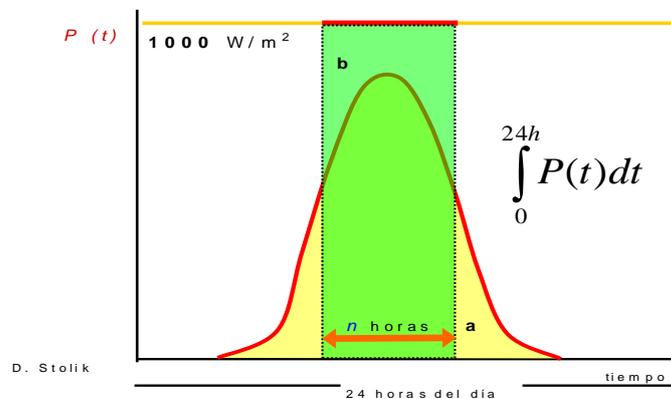
**¿Qué es el Wp (watt pico) FV (fotovoltaico)? , Veamos.**

La potencia de radiación solar  $P(t)$  en watt por m<sup>2</sup>  $W / m^2$  cambia durante las 24 horas del día, va de cero durante la noche, aparece al amanecer, aumenta paulatinamente hasta llegar a un máximo y posteriormente va disminuyendo hasta que se esconde nuevamente.

La integral  $\int_0^{24h} P(t)dt$  en el tiempo es energía en Wh por m<sup>2</sup>, que durante las 24 horas del día

describe una curva variable que encierra un área a que caracteriza la energía suministrada por el sol durante un día. Si tomamos una energía constante de  $1000 W / m^2$  que describa un rectángulo de área  $b = a$ , o sea, que áreas aéreas definan la misma energía solar diaria. La altura del rectángulo de área  $b$  representará la potencia constante de  $1000 W / m^2$  y la base del rectángulo determinará el número  $n$  de horas al día, llamadas horas pico, que define una misma cantidad de energía entregada por el sol durante el día.

$P(t)$  constante de  $1000 W / m^2$ , (área  $b$  verde =  $a$  amarilla),  
determina la misma energía solar durante  $n$  horas (pico)



**Watt pico** (Wp) es la salida de potencia en Watt de un módulo FV (panel) cuando se ilumina con una fuente artificial que simula al sol, de potencia constante  $1000 \text{ W/m}^2$ , a  $25^\circ\text{C}$  y de un espectro similar al del sol, después de pasar 1.5 de la masa de aire atmosférica. **Esta salida de potencia eléctrica se mide experimentalmente en watt denominadas "pico"** El Wp ya refleja la eficiencia del módulo (panel)

**Cálculo del kWh a partir del Wp depende de:**

**1.- La radiación solar del lugar y 2.- Los años de vida T del sistema FV.**

EJEMPLO: Para una radiación solar de  $1825 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ , podemos definir una radiación que tenga en cuenta las distintas pérdidas, de  $S = 1480 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$  y  $T = 25$  años de vida del módulo

$1440 \text{ kWh/m}^2/\text{año} = 1440$  horas (pico) de 1 kWp al año.

$1440$  horas durante  $25$  años de vida del módulo =  $36\ 000$  horas pico

$36\ 000$  horas generando 1 kWp de potencia =  $36\ 000 \text{ kWh}$  de energía.

Si el costo total del sistema FV instalado es  $\$ 3.24 \text{ USD / Wp}$ , en términos de centavos por kWh son  $324\ 000$  cents / kWp.

Dividiendo el costo del kWp instalado ( $324\ 000$  cents/ kWp) entre el número de horas ( $36\ 000$  horas) generando una potencia equivalente de 1 kWp. Entonces el costo sería de  $\$ 0.09$  de USD por kWh.

Es ligeramente mayor al tener en cuenta los costos de operación, mantenimiento y otros gastos (que son pequeños).

Recalamos que el kWh depende de:

1. Costo del Wp del sistema FV
2. La radiación solar utilizable (que tiene en cuenta las pérdidas)
3. Los años de duración del sistema

Por ejemplo, si dos sistemas de iguales costos del Wp e idéntica radiación solar y si uno de ellos dura el doble de años que el otro, entonces su kWh costará la mitad.

Otro ejemplo, un sistema FV montado en Cuba produce un costo del kWh menor en un  $60\ \%$  comparado con otro igual montado en Alemania, debido a una radiación solar mayor en un  $60\ \%$ .

---

**HASTA AQUI LO EXPUESTO EN EL 2011, VEREMOS UNA ACTUALIZACION Y COMPLEMENTACION 2021 EN EL PRÓXIMO vitecfv, QUE INCLUIRA ARGUMENTOS PARA PROPONER AUN MAYORES AUMENTOS FV. NO DEJE DE VERLA, POSIBLEMENTE SE SORPRENDA CON ALGUNAS COMPARACIONES.**

**DR.C. Daniel Stolik**