

**VITECFV #59. COSTOS FV 2016 – 2021**

En el vitecfv anterior (# 58) recordamos la evolución del abaratamiento FV hasta el año 2015, en este vitecfv # 56 exponemos el comportamiento entre 2016 y 2021.

El aumento de la producción anual FV continuo y fue el siguiente

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
GW	77	103	104	110	139	180

Para este año 2022, superara mundialmente los 200 000 MW.

COSTO DEL MÓDULO FV

El costo promedio del watt de módulo FV fue sostenido hasta 2020, en la tabla siguiente se muestra la espectacular disminución para los módulos de silicio poli cristalino:

	1975	1980	1990	2000	2010	2015	2020
USD\$/Wp	105	30	8	5	2	0.8	0,2

A pesar de que en 40 años el costo del Watt pico FV disminuyó más de 500 veces, en ocasiones todavía se argumenta en las investigaciones y búsqueda de nuevos tipos de celdas FV que el costo del módulo de silicio es muy caro, pero esta competencia C-T la ha estado ganando industrialmente las celdas de silicio cristalino, la que por supuesto también continuará disminuyendo, pero a partir de que hoy el kWh FV como promedio es la más barata de todas las fuentes de generación eléctrica,

En vitecfv #57 y en otras publicaciones anteriores, analizamos que el costo de la celda FV era muy barato cuando el silicio utilizado era a partir de la chatarra que sobraba de la producción de dispositivos micro electrónicos, pero en la medida que fue creciendo sostenidamente la producción FV, la chatarra no fue suficiente, por ejemplo toda la producción de silicio de alta pureza en el año 2001 fue de unas 2 000 ton., en las que el 20 % fue para la FV y el 80 % para la microelectrónica , mientras que en 2019 la producción de silicio puro fue de aproximadamente 92 000 ton. y el 80% fue para la FV, la producción de silicio de alta pureza continuo su rápido incremento.

PRODUCCIÓN ANUAL DE SILICIO DE ALTA PUREZA;

- 2007 30 000 ton.
- 2009 92 000 ton.. (80 % para la FV)
- 2010 195 000 ton.
- 2015 330 000 ton. (94 % para la FV)
- 2020 500 000 ton. (97 % para la FV)

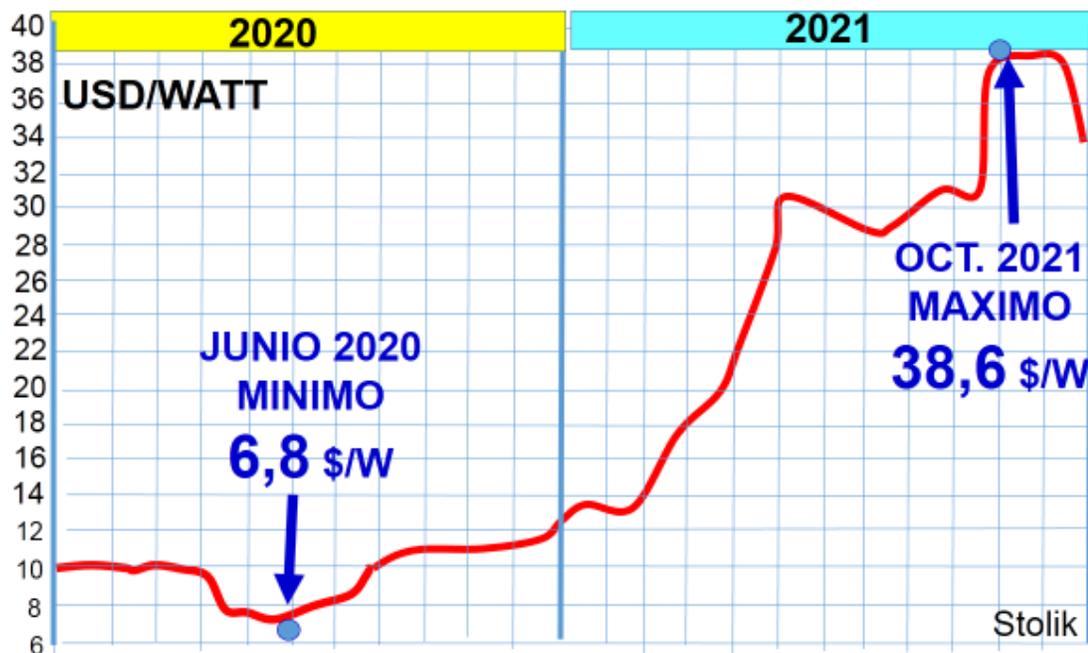
EVOLUCIÓN DEL COSTO DE SILICIO GRADO SOLAR

Cuando la chatarra de silicio para la micro electrónica comenzó a no alcanzar para el aumento de la FV se inició un rápido incremento del costo del kg de silicio puro, A partir del año 2004, en 7 años pasó de unos 30 USD/kg (2004) a más de 400 USD/kg (costo record) en 2008, lo que a partir de entonces propicio el aumento de nuevas fábricas para la producción específica y sostenida de silicio grado solar, lo que posteriormente motivo una notable disminución del costo del kg de silicio, de alrededor de 10 veces entre 2010 y 2020.

Entre el record de mayor costo en el año 2008 y el de menor en junio del 2020, El costo de silicio grado solar cayó cerca de 60 veces.

AUMENTO DEL COSTO FV

Por primera vez a partir de finales del 2020 y durante el 2021 por diversas razones se detuvo la disminución del costo del módulo FV, sobre todo por el aumento del costo de silicio de pureza solar en gran parte debido que a pesar del aumento de la producción del silicio grado solar no se satisfacía el notable aumento de la demanda de módulos FV. La evolución se muestra en el siguiente gráfico.



En 16 meses el costo del kg. de silicio grado solar paso de 6,8 USD/kg a 38,6 USD/kg y ha comenzado un lento descenso del costo.

AUMENTO CIRCUNSTANCIAL DEL COSTO FV

Es sorprendente que mientras el costo del silicio aumento en más del 400 %, el incremento del Watt pico de los módulos fue menor de un 20%, asimilado por los productores de modelos FV. Actualmente se construyen en varios países, sobre todo en China, un gran número de nuevas plantas de producción de silicio grado solar cuyas terminaciones demoran entre 2 y 3 año, las primera entraran a añadir sus producciones a mediados de este 2022, año en que habrá todavía un lento descenso de costo del silicio,

el que se pronostica que continuara bajando en años posteriores para volver a tener costos menores de 10 USD dentro de varios años.

El costo del módulo FV también continuará su disminución, propiciando que se rompa cada año el record de instalaciones FV, así lo hará otra vez en este 2022 al superar la barrera de 200 000 MW FV/año., evolución que continuará en 2023 y sucesivamente en años posteriores. Realmente el aumento de costos FV referidos ha sido circunstancial y esta comenzando de nuevo paulatina y lentamente su recuperación.

CELDAS FV DE SILICIO vs CAPAS DELGADAS

Es real que el kWh FV en base a celdas de FV de silicio nació siendo extremadamente cara, por lo que desde un principio comenzó la búsqueda de variantes sustitutivas más baratas, como las de capas delgadas (ver libro de Energía FV para Cuba), que primordialmente desde un principio fueron en Silicio amorfo (Si-a, no cristalino), CdTe, CIS-G (CuInSe-Ga), las de Si-a fue una gran esperanza que se quedó con una eficiencia muy baja, las de CdTe y CISG, también de capas delgadas, tuvieron mayor éxito industrial, pero entre ambas no llegan al 5 % de la producción mundial de celdas FV que es de un 95% en las de silicio.

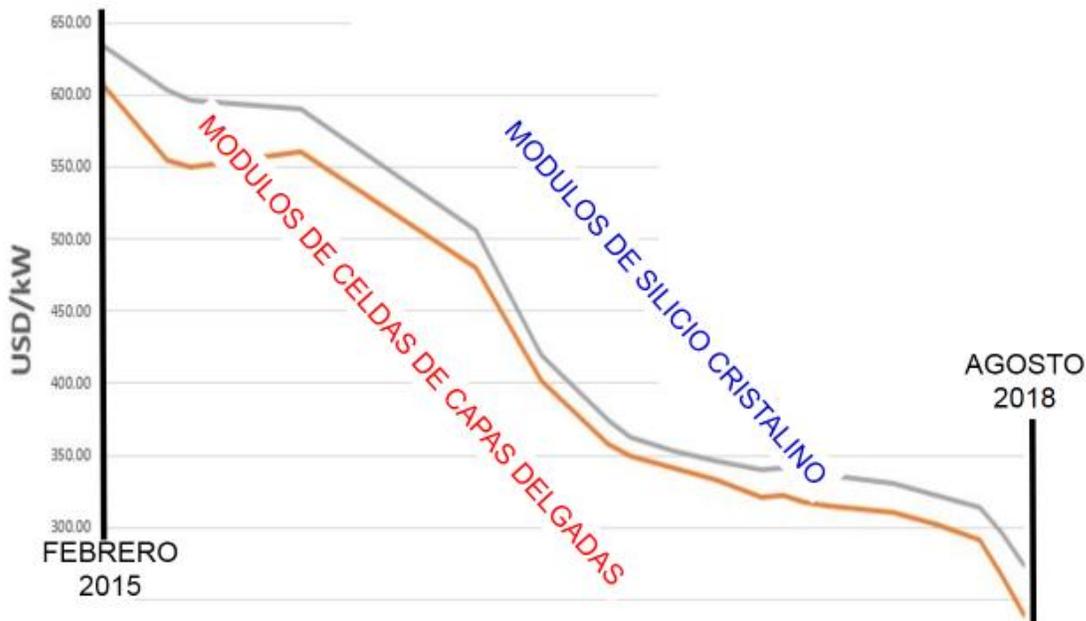
PRODUCCIONES DE MÓDULOS DE CELDAS INDUSTRIALES

La producción de modelos FV de silicio cristalino sigue dominando el mercado mundial

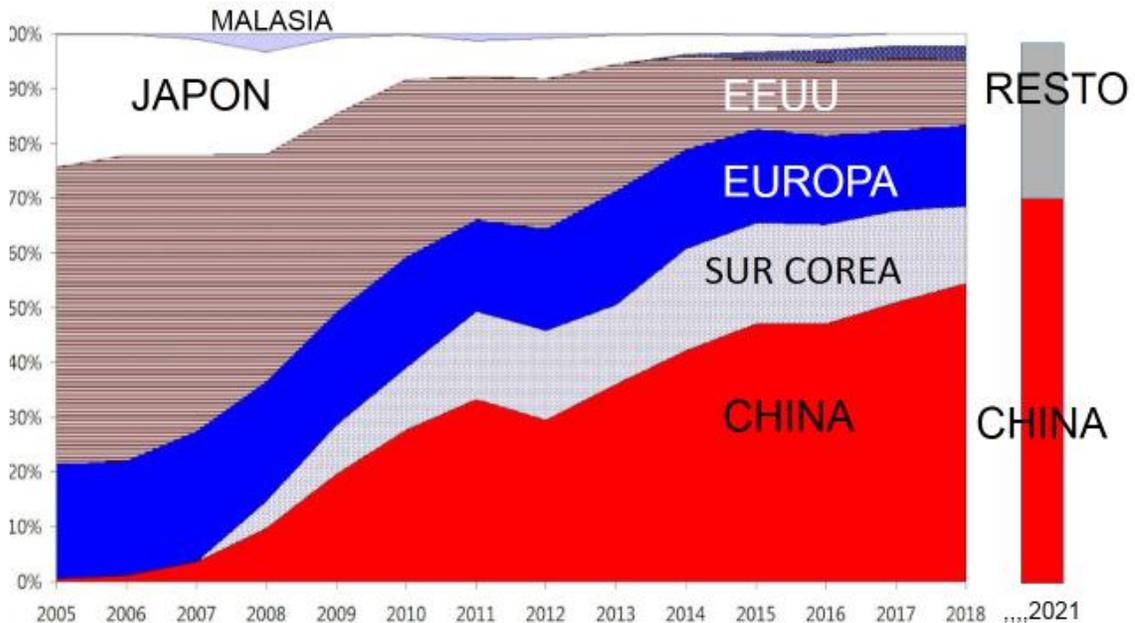
- De silicio cristalino (mono +poli) 95%
- De capas delgadas CdTe y CISG) cercas de 5%
- De AsGa, muy caras de eficiencias record pero muy caras, por lo que se utilizan en sistemas de generación eléctrica en el espacio.

La American Solar Energy Society, defensora de las capas delgadas, plantea que estas (de capas delgadas) son las más baratas, pero estimo que esta opinión tiene mucho sesgo, posiblemente debido al éxito de China, país que hace 15 años tenía una insignificante producción de módulos FV y actualmente aporta las dos terceras partes de la producción mundial, que actualmente acapara el mercado FV.

Según otras referencias menos comprometidas, el costo del kWh de módulos industriales de celdas en capas delgadas, que se suponían sustituyera las de silicio, según datos de PV INSIGHT continúan teniendo costos algo más altos que las de silicio, como se muestra en el ejemplo del siguiente gráfico.



En 2005 el aporte de EEUU, Europa y Japón era mayoritario pero no pudieron resistir la competencia de China, según se muestra en el siguiente grafico sobre los mayores productores de módulos FV entre 2005 y 2021.



MÓDULOS DE CELDAS FV DE SILICIO vs EMERGENTES

Actualmente no hay prácticamente producción industrial de módulos FV en base a distintos tipos de celdas FV denominados Emergentes, que se desarrollan en investigaciones a nivel de laboratorio.

La comparación de las eficiencias actuales (Febrero de 2022) de celdas a nivel de laboratorio, entre las de silicio cristalino vs emergentes más importantes es la siguiente

TIPO	EFICIENCIA DE LABORATORIO
De silicio:	
• Poli cristalino	23,3%
• Mono cristalino	26,1%

Emergentes:

- | | |
|---------------------------------------|--------|
| • Sensibilizadas (Dye-sensitized) | 13 % |
| • Inorgánicas | 13 % |
| • Puntos cuánticos (nanotecnológicas) | 18,1 % |
| • Orgánicas | 18,2 % |

Estos tipos de celdas emergentes muestran inclusive a nivel de laboratorio eficiencia más baja que la de silicio cristalino.

- | | |
|--------------|--------|
| • Perovskita | 25,4 % |
|--------------|--------|

La de perovskita ha tenido un rápido desarrollo a nivel de laboratorio pero no logra competitividad en celdas y módulos FV industriales.

Las celdas Emergentes tándem (ver libro Energía FV para Cuba) son variantes en etapa de laboratorio que combinan junturas y/o adiciones de otros materiales

- | | |
|---|--------|
| • Tándem orgánicas + Perovskita
De muy baja eficiencia | 14,2 % |
| • Tándem de CIGS + Perovskita | 24,2 % |
| • Tándem de silicio + Perovskita | 29,8 % |

Es la variante que actualmente promete una mayor posibilidad para aumentar la eficiencia por encima del 25 % en celdas de nivel industrial a precios adecuados

- | | |
|-------------------------------|-------|
| • Tandem AsGa (de 4 junturas) | 47,1% |
|-------------------------------|-------|

Poseen record de eficiencia pero son extremadamente caras y se utiliza en aportar la energía eléctrica en naves y sistemas espaciales, donde se necesita energía a cualquier costo.

CONCLUSIÓN

LA DEMOSTRACIÓN DE QUE NO SE VISLUMBRA UNA SUSTITUCIÓN DEL SILICIO EN LAS CELDAS Y MODULOS FV ESTÁ EN EL GRAN AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE SILICIO DE ALTA PUREZA (VER ENERGIA FV PARA CUBA) QUE ACTUALMENTE ES DE UNOS 600 000 TONELADAS MÉTRICAS AL AÑO, PERO QUE INCLUSIVE VA A INCREMENTARSE NOTABLEMENTE PARA ACERCARSE AL MILLON DE TON./AÑO EN PRÓXIMOS AÑOS, PRODUCTO DE LAS GRANDES INVERSIONES EN NUEVAS PLANTAS DE SILICIO GRADO SOLAR. POR LO QUE ALERTO SOBRE INCERTIDUMBRES QUE SE APORTAN EN NOTICIAS SOBRE NUEVAS CELDAS QUE SE DIVULGAN POR INTERNET, ALGUNA CORRECTAS PEROMUCHAS NO, Y QUE EN OCASIONES RESPONDEN A INTERESES ESPECIFICOS DE DISTINTOS TIPOS.

EN PRÓXIMAS VITECFV CONTINUAREMOS CON EL TEMA SOBRE COSTOS FV.

Dr.C. Daniel Stolik