



Vitecfv # 4 Penetración y costos FV

DR.C. DANIEL STOLIK

19 NOVIEMBRE 2020

PENETRACION FV

Cuba ya contara al finalizar este año 2020 con un per cápita alrededor de 20 watt FV/hab. El pronóstico para Cuba varía mucho en dependencia de la capacidad FV que se logre. Para el año 2030 con la suposición de contar con: una población de 11 500 000 habitantes, generación eléctrica nacional (MIX) de 30 000 GWh/año, yield 1400 kWh/kWp, entonces las alternativas perspectivas de penetración y de per cápita FV para Cuba en función de la cantidad de potencia instalada son las siguientes:

Acumulado FV 2030	Penetración FV % del MIX	Per capita FV/Watt
3000 MW	14 %	268
2500 MW	11.6 %	223
2000 MW	9.3 %	178
1500 MW	7 %	134
1000 MW	4.6 %	90
700 MW	3,2 %	62

Llegar a tener en Cuba entre un 3 % y un 10 % de FV de la generación eléctrica (MIX) para 2030 sería aún inferior a la que poseen ya muchas regiones de países del mundo. A continuación se muestra la relación de países que cuentan con penetración FV mayores.

Países con mayores penetraciones, instalaciones y consumos per cápita FV en dic. 2019

		Penetración FV % del MIX	FV 2019 MW	# habitantes millones	Per capita FV/Watt
1	Honduras	14.8 %	511	9, 087	57
2	Hawái EE.UU.	12.6 %	1 312	1,500	874
3	Israel*	8.7 %	2 411	8, 969	267
4	Alemania	8.6 %	50 000	83, 082	602
5	Chile	8.5 %	2 648	18, 880	140
6	Australia	8.1 %	15 920	25, 150	640
7	Japón	7.5 %	63 000	126, 398	500
8	India	7.5 %	42 000	1 375,898	30
9	Italia	7.5 %	20 000	60, 466	333
10	Grecia	7.5 %	2 763	11, 314	244
11	Malta	6.5 %	154	492	313
12	Bélgica	5.7 %	4 531	11, 459	397
13	Holanda	5.6 %	6 725	17, 290	395
14	Turquía	5.1 %	5 955	81, 821	73
15	España	4.8 %	8 761	46, 791	186
16	Reino Unido	4.0 %	13 300	66, 636	200
17	China	3.9 %	204 700	1 395,261	146
18	Bulgaria	3.8 %	2 070	7, 004	295
19	Suiza	3.7 %	2 524	8, 549	297
20	Chipre	3.6 %	129	872	148
21	Re. Checa	3.5 %	2 070	10, 640	207
22	Sur corea	3.1 %	3 100	51, 843	60
23	EE.UU.	3.0 %	75 900	329,071	230

La comparación de las penetraciones y per capitas FV alcanzada por muchos países sugiere la posibilidad de aumentar sensiblemente la estrategia FV para Cuba en 2030.

Al igual que Cuba, la comparación específicamente entre muchas islas que tampoco poseen interconexión eléctrica con países vecinos, muestran características similares, como las siguientes:

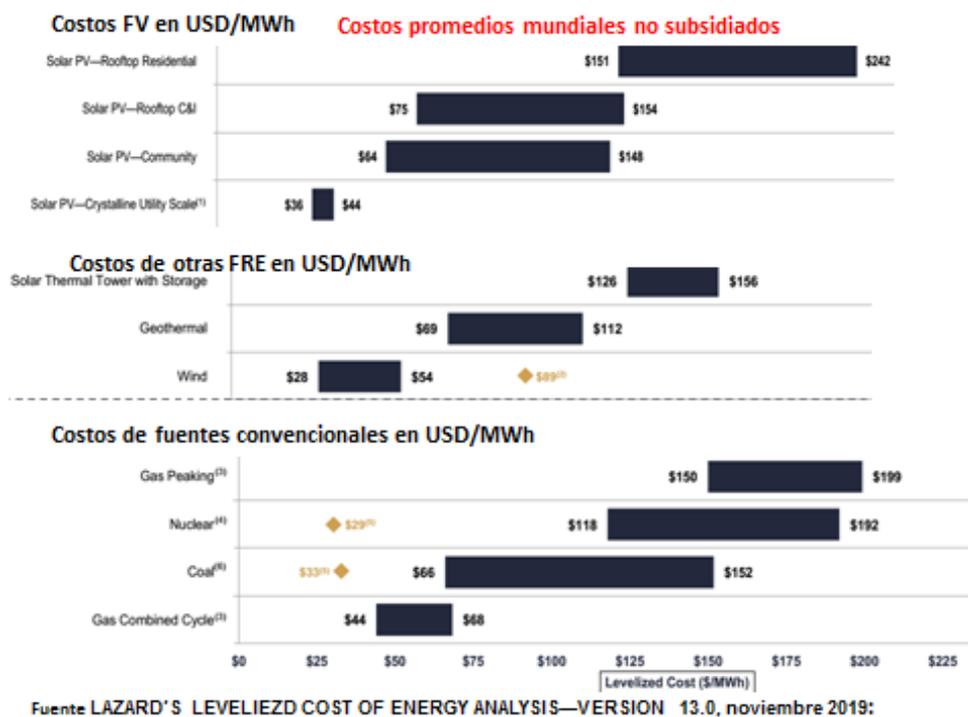
- La generación eléctrica, en elevado por ciento, se basa en combustibles fósiles.
- Los costos de generación del kilowatt hora son de los más caros del mundo.
- Las mayores potencialidades se basan en eólica y fotovoltaica.
- Poseen buena radiación solar.
- El pago por factura por kilowatt hora en USD es alto, lo que justifica un mas temprano almacenamiento por baterías.
- La mayoría poseen estrategias para 100 % de generación eléctrica por FRE.

En el libro "Energía FV para Cuba" se exponen detalladamente medidas de corto, mediano y largo plazo para aumentar la penetración FV en la generación eléctrica.

COSTOS FV

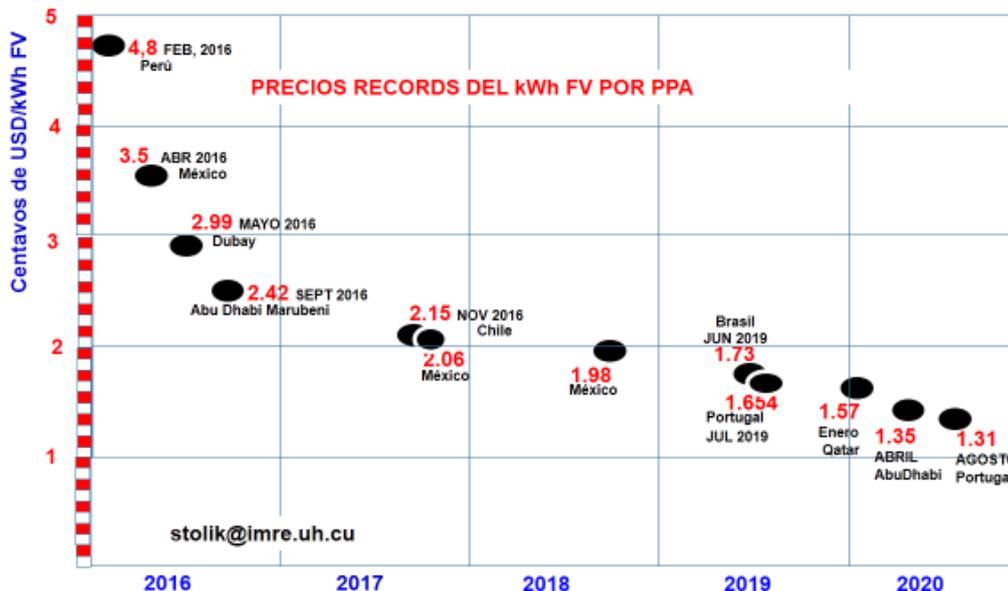
Recalamos que la energía eléctrica FV y la eólica se han convertido en las más baratas entre todas las fuentes de generación eléctrica. Los costos de instalación de sistemas FV han continuado su disminución, actualmente en muchos países las de nivel utility es menor de 1000 USD/kWp.

Por ejemplo, según la prestigiosa empresa Lazard, los costos de la energía eléctrica promedio mundial en 2019 era la siguiente:



Los record de costos FV más bajo por contrato de compra venta del kWh (PPA) ya son increíblemente menores de los 2 centavos de USD/kWh FV. Para Cuba no es posible realmente de tener tan bajos precios por pago de 2 centavos de USD kWh por PPA, un costo favorable con inversión extranjera en PPA de 20 años, podría estar en unos 5 centavos de USD/kWh, que es mucho menos del costo actual en MLC del kWh en Cuba en base a combustibles fósiles.

A continuación se muestra la evolución de los records de PPA, que han pasado de 4.8 en 2016 a 1.31 centavos de USD/kWh en 2020.



COSTOS POR COMPONENTES DEL SISTEMA FV

Para el análisis y cálculo de costos se hace una detallada argumentación en otros trabajos del autor, en los que se divide las componentes de los sistemas FV en costos duros "hard" que tienen que ver con los insumos tangibles y "blandos" que se refiera más al costo humano de labor. Por su importancia desglosamos a continuación el significado en componentes con la ayuda de diferenciarlos por colores.

HARD: Modulo +inversor

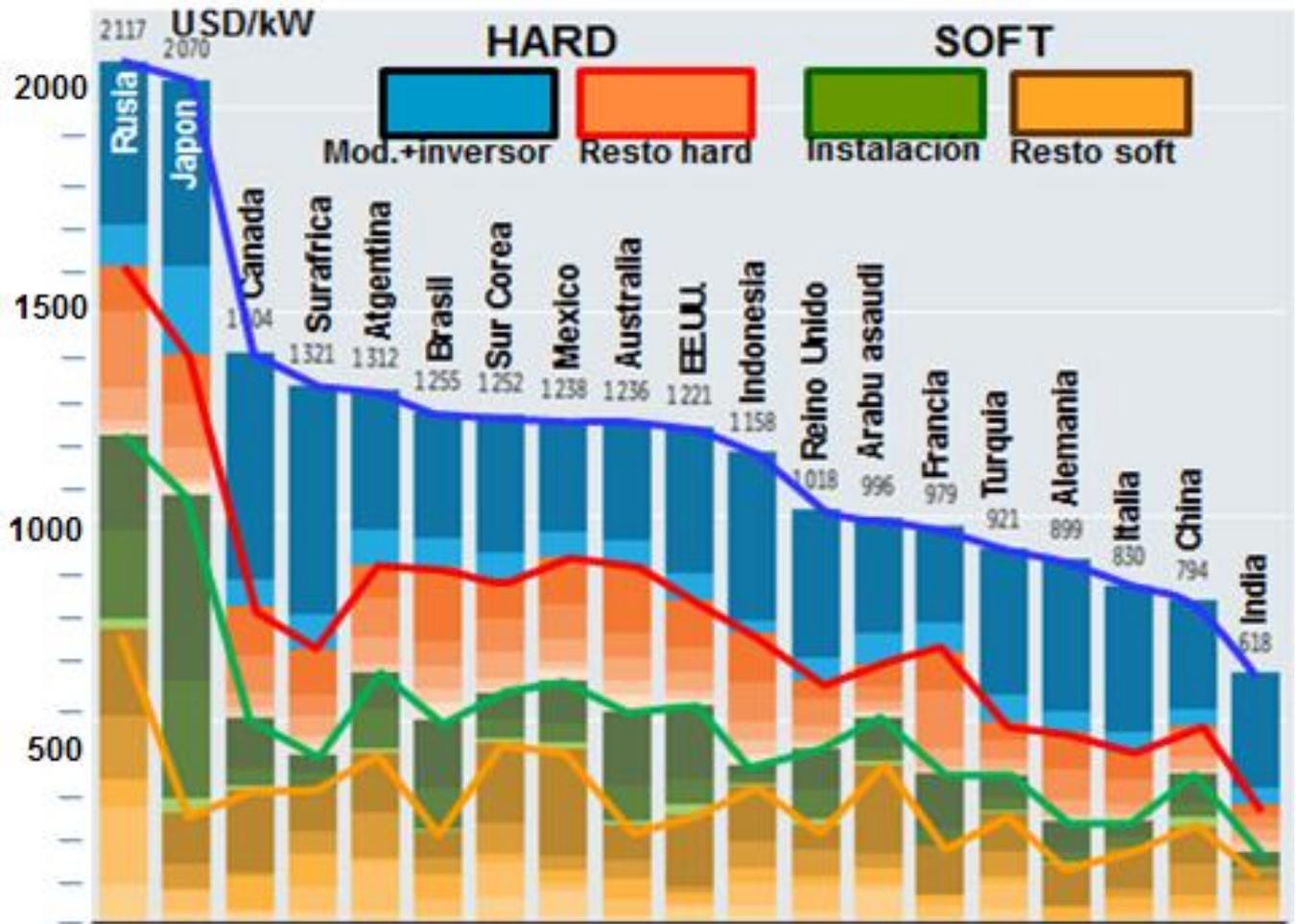
RESTO HARD: Estructuras y perfiles soportes. Cables y conectores DC y AC. Cajas de conexiones (string boxes). Materiales para instalación de inversor. Seguridad: cercas, cámaras, protección de incendios, Conexión a la red: interruptores (switch gears), pizarras de control, transformadores, metros contadores, sistemas de monitoreo, controles de datos (scada), sensores meteorológicos (radiación, temperatura).

INSTALACIÓN SOFT: **Mecánicas** (movimiento de tierra, accesos, montaje de estructuras soportes, trincheras de cables, instalación de módulos, inversores y de acceso a red, izajes y transportación. **Eléctricas** (module, inter coexion, cables CD, voltajes AC, sistemas de monitoreo y control, test . **INSPECCIONES** (supervisión de la construcción, Salud. Seguridad . .

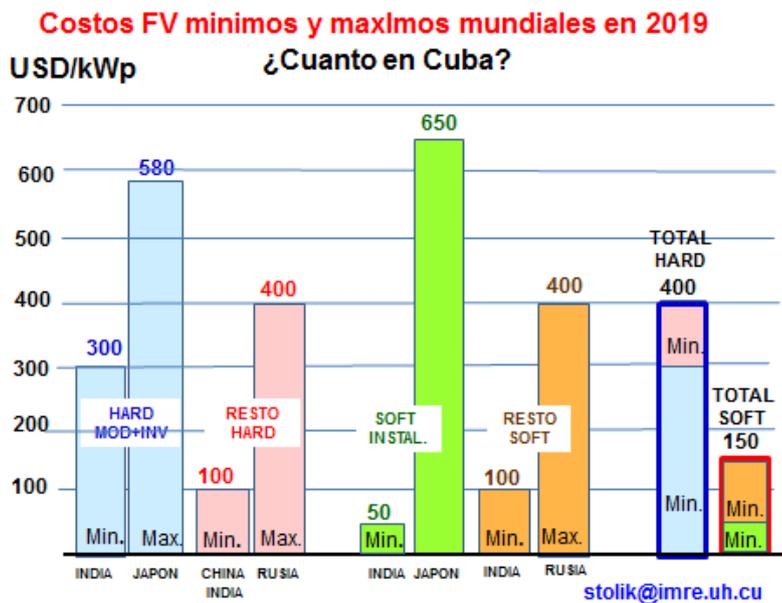
RESTO SOFT: COSTOS: Para cumplimiento de políticas .De permisos necesarios .De regulación ambiental. Estudios geológicos y topógrafos. De diseño. Preparación de la documentación. Derechos y poner en marcha proyectos. Financiamiento (para el desarrollo y construcción del sistema FV. Margen para la empresa EPC y/o para el desarrollo del proyecto. Ganancias, salarios, finanzas, servicio al cliente, recursos humanos, alquileres, oficinas, suministros, servicios profesionales, tarifas.

La realización y diferenciación de costos relacionados en **RESTO HARD**, **INSTALACION** y **RESTO SOFT** dependen mucho de cada país, tal como se muestra en el siguiente esquema (fuente: IRENA 2020), del siguiente grupo de 19 países, muy significativamente seleccionados por sus aportes a la capacidad mundial existente.

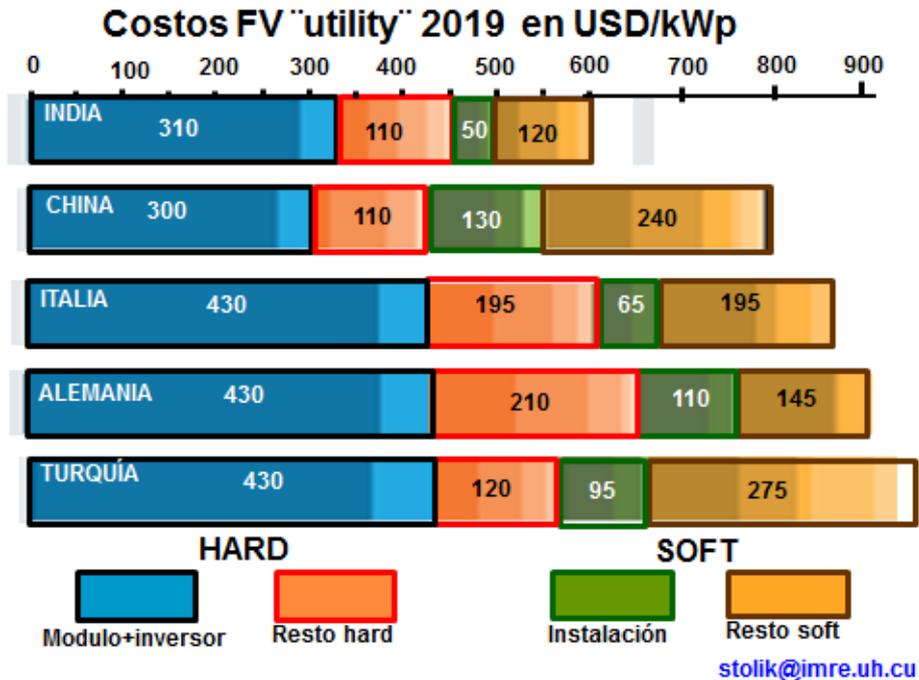
Costos por componentes hard y soft de una importante selección de países son los siguientes:



La diferencia de costos entre países es notable, los rangos de costos extremos máximos y mínimos se muestran a continuación:



A continuación destacamos la selección de los 4 países con costos menores de instalaciones FV de nivel utility:



El análisis de 13 países seleccionados con diversas características (incluyendo distintos grados de desarrollo económico), el costo "hard" es el siguiente, de:

- Unos 400 USD/kWp en China e India.
- Menos de 600 USD/kWp en Italia y Alemania.
- 700 USD/kW o menos, en: Turquía, Francia, Arabia Saudita, Reino Unido, EE.UU., Australia, México, Sur Corea, Argentina.

FINANCIAMIENTO FV PARA CUBA

Como es conocido, la barrera mayor para un mayor desarrollo FV del país es la del financiamiento por falta de liquidez en MLC. El financiamiento por PPA de inversiones extranjeras viabiliza temporalmente la falta de liquidez en MLC, pero el costo para Cuba sería aún menor que la de PPA en MLC mediante inversión con "esfuerzo propio", realizando la erogación mayor en MLC en los insumos tangibles (hardcost) y en MN los costos que dependen mayormente de labor humana (softcost: diseño, instalación, O-M, etc.). Aunque es tarea difícil, el poder financiar las instalaciones y la O-M con esfuerzo propio resulta notablemente menos costoso en erogación de MLC que la del PPA, aspecto que tributa a poder aumentar el aporte FV a la generación eléctrica.

El posible costo en componentes "Hard" en MLC para Cuba de instalaciones nivel utility que se realicen con esfuerzo propio, considerado todavía conservador, podría estar en de 700 USD/kWp en componentes HARD, con tendencia a continuar disminuyendo. El costo por componentes "soft" tendería a realizarse en MN.

De contar con una radiación solar de 4 horas pico/día, 1440 al año y 36 000 horas pico en 25 años, la erogación en MLC por costo del kWh FV, podría ser menor próximamente, de 2 centavos USD/kWh FV.

La diferencia entre el costo del kWh fósil vs. el kWh FV es el denominado "costo fósil evitado" que es precisamente el que con el aumento de la FV va paulatinamente propiciando el autofinanciamiento de las instalaciones FV, o sea, cuando el costo fósil total evitado durante un año se hace menor al costo de toda la nueva instalación FV correspondiente en el año.

Como está planteado correctamente en la estrategia de desarrollo económico y social del país en la política de la UNE y el MINEM, es importante por un lado lograr el ahorro el máximo de

eficiencia energética para el consumo de la electricidad y disminuir en todo lo posible las importaciones en MLC. Es decir, hay que precisar muy bien donde se ponen "los pocos recursos en divisas y cuáles son las importaciones de insumos que no se pueden hacer en Cuba o inclusive que en divisas, el hacerlo nacional costaría en MLC más que importarlo. Por ejemplo en la FV, si para hacer el módulo FV, se hace más caro importar las componentes (celdas solares FV, vidrio, etivinilacetato, tedlar, marco de aluminio, sellantes, estaño) en divisas que importar el modulo completo terminado, entonces pondría preferiblemente el dinero ahorrado por costos evitados en otras necesidades, por lo que es importante hacer un análisis nacional de cuáles son los insumos que se pueden o no producir en Cuba con vistas a producir la disminución de importaciones y también el aumento de producciones nacionales competitivas a partir de los insumos FV que dan más negocio importarlos, aspecto que analizaremos en próximas vitecfv.

ESTRATEGIA FV

En la estrategia del país se plantea correctamente generar unos 30 000 GWh/año de electricidad, pero llegar a que un 24 % sea de fuentes renovables de energía (FRE), necesitará en 2030, no obstante el aumento de la eficiencia de generación, generar con combustibles fósiles unos 2800 GWh más de los que se utilizan actualmente. Para mantener la misma cantidad de combustible fósil para 2030 que la actual debemos pasar de un 24 % a un 30 % en FRE para entonces, pero para disminuir en la realidad el monto de quema de combustibles fósiles actual se necesitaría para 2030 lograr una generación mayor del 30 % de FRE, en cuyo objetivo la FV puede suplir una buena parte de la misma.

Uno de los factores del alto coto del kWh fósil en Cuba es la dependencia de la generación eléctrica del petróleo (crudo, fuel y diesel). De realizar un análisis sobre el tiempo que se necesita para que la FV se convierta en instalaciones autofinanciadas por costo evitado fósil y suponiendo que aproximadamente el ahorro por generación FV promedio consistiría en 10 centavos USD por kWh, entonces el crecimiento del autofinanciamiento FV en función de las instalaciones acumuladas sería el siguiente:

Instalación FV acumulada	Costo fósil evitado/año Millones USD	Financiamiento en MW "hard" añadido/año
300 MW	42	60
500 MW	70	100
700 MW	98	140
1000 MW	140	200
1500 MW	210	300

Si la FV van paulatinamente aumentando cada año, hasta llegar con el paso del tiempo a una cantidad estable de instalaciones, por ejemplo de 300 MW FV/año, que se reinstalan por duración de 30 años de las instalaciones FV, considerando que el costo del MWp de reposición de los sistemas igual a 1000 USD/kWp (que será en la realidad mucho menor). El costo de instalaciones comienza a autofinanciarse y en el estudio de caso hecho, el autofinanciamiento al 100 % se debe producir al llegar a una generación nacional de 1500 MW instalados.

Aunque es un tema difícil debido a la falta de liquidez en MLC del país, la aprobación de poder dedicar desde ahora una cantidad anual para el desarrollo FV financiado por esfuerzo propio, iría tributando rápidamente el autofinanciamiento por costo fósil evitado y al aumento paulatino de la soberanía electro energético del país. Al mismo tiempo la generación eléctrica por esta vía también tributaría a la sustitución del caro combustible fósil del transporte al pasarse paulatinamente a transporte eléctrico.

De acuerdo con un análisis de los pronósticos de disminución de costos FV, el costo hard por kWp para Cuba puede fluctuar entre 2021 y 2030 de la siguiente forma:

Año	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
USD/kW	700	650	600	550	500	450	400	400	400	400

Se hace la estimación para el decenio que el costo promedio del kWh FV sea menor que el fósil en unos 10 centavos de USD/kWh (aunque realmente es fluctuante).

En pocos años las instalaciones FV se autofinancian al 100 % por costo fósil evitado.

CALCULO DE VARIANTE DE ESTRATEGIA FV PARA TODOS LOS SECTORES

utility, industrial, comercial, social residencial. (Sin sumar lo alcanzado en 2020)

Columnas A – Año

B – Costo "HARD" anual en USD/kWp.

C – Financiamiento de nuevas instalaciones anuales FV (millones USD).

D – Potencia FV instalada anualmente en MWp.

E – Potencia acumulada instalada anual en MWp.

F – Costo fósil evitado anualmente (millones USD)

Programa total FV para todos los sectores

A	B	C	D	E	F
año	USD/kW hard	millones USD al año	MW al año	MW Acum.	Millones USD
2021	700	150	214	214	30
2022	650	150	233	447	62
2023	600	150	250	697	97
2024	550	150	273	970	135
2025	500	150	300	1270	177
2026	450	150	333	1693	237
2027	400	150	375	1978	277
2028	400	150	375	2353	329
2029	400	150	375	2728	382
2030	400	150	375	3103	434

Nótese que el autofinanciamiento se incrementa rápidamente, y en 2024 sería ya del 90%. A partir de 2025 se autofinancia por costo evitado en más del 100 %.

En 2030: La FV aportaría al MIX 3 000 MW y una penetración- integración aproximadamente mayor del 10 %. La erogación en divisas para hardcost sería de 150 millones de USD, mucho menor que el costo evitado fósil de 434 millones de USD. Todos los sectores tributan al costo fósil evitado pero evidentemente en proporciones y circunstancias muy distintas aspecto a tener muy en cuenta. El mayor aporte en potencia total debe corresponder a las instalaciones de nivel utility, los de los otros sectores deben disminuir sus aportes en términos absolutos de potencia total. Una variante tentativa de ejemplo muy aproximado, que pudiera ser algo distinta se muestra a continuación (conectada a red):

- Utility 66 %, 2 000 MW FV centralizado
- Industrial-comercial 25 %, 750 MW distribuido
- Social 5 %, 150 MW distribuido
- Residencial 1 %, 30 MW distribuido
- Otros 3 %, 70 MW

El número de instalaciones aumenta notablemente con la disminución de la potencia, por ejemplo si el promedio por planta utility es de 10 MW FV/planta los 2000 MW corresponden en promedio a 200 parques FV, mientras que en el otro extremo está el sector residencial en el que si cada instalación en promedio es de 1 kW el número de sería 30 000 sistemas residenciales.

APORTE DEL SECTOR DE NIVEL UTILITY.

El financiamiento mayor de nivel utility, con variante de dedicar 100 millones de USD/año durante este decenio, y un rápido autofinanciamiento por costo fósil evitado, que sería mayor al 100 % a partir de 2025, se muestra a continuación:

Programa FV del sector utility conectado a red centralizado

A	B	C	D	E	F
año	USD/kW hard	millones USD al año	MW al año	MW Acum.	Millones USD
2021	700	100	143	143	20
2022	650	100	154	297	41
2023	600	100	166	463	65
2024	550	100	181	644	90
2025	500	100	200	843	118
2026	450	100	222	1165	163
2027	400	100	250	1315	184
2028	400	100	250	1565	219
2029	400	100	250	1815	254
2030	400	100	250	2065	289

APORTE DEL RESTO DE LOS SECTORES

El financiamiento de los otros sectores (industrial, comercial, social, residencial), de alrededor de 1000 MW FV para el 2030, puede tener diversas fuentes. El del sector industrial y comercial puede ser compartido con incentivos económicos tanto para las empresas como para el país (ver alternativas en "Energía FV para Cuba). El social (cultura, educación, salud, etc.) el financiamiento es eminentemente estatal. El residencial debe ser costeado por los clientes.

ESTRATEGIA A MAS LAGO PLAZO

Posterior al año 2030 lo recomendable es fijar la potencia FV a instalar cada año. Que, por ejemplo, de ser 300 MW FV /año, teniendo en cuenta que como mínimo la vida útil de los parques ya es de 30 años, resulta que se llegaría, posterior al año 2050, tener una potencia acumulada de 9 000 MW FV, con un aporte FV al MIX a más largo plazo, de unos 12 000 GWh/año, en un proceso donde de disminución real en la utilización de los combustibles fósiles para la generación eléctrica así como del transporte de motores de combustión interna.

La FV tributa al paulatino costo evitado tanto por la quema de combustible fósil para generar electricidad como la de carga de baterías o líneas para el crecimiento necesario del transporte eléctrico, con vistas a lograr en pocos años el autofinanciamiento de las propias instalaciones FV en función de una verdadera disminución de la utilización de combustible fósil, no solo desde el importante punto de vista del medio ambiente, sino también del económico, conducente a una necesaria soberanía electro energética.

Dr.C Daniel Stolik
Tel 72095812 , cel 53572300
stolik@imre.uh.cu