

Sobre estrategia FV para Cuba. Julio 2020. Daniel Stolik

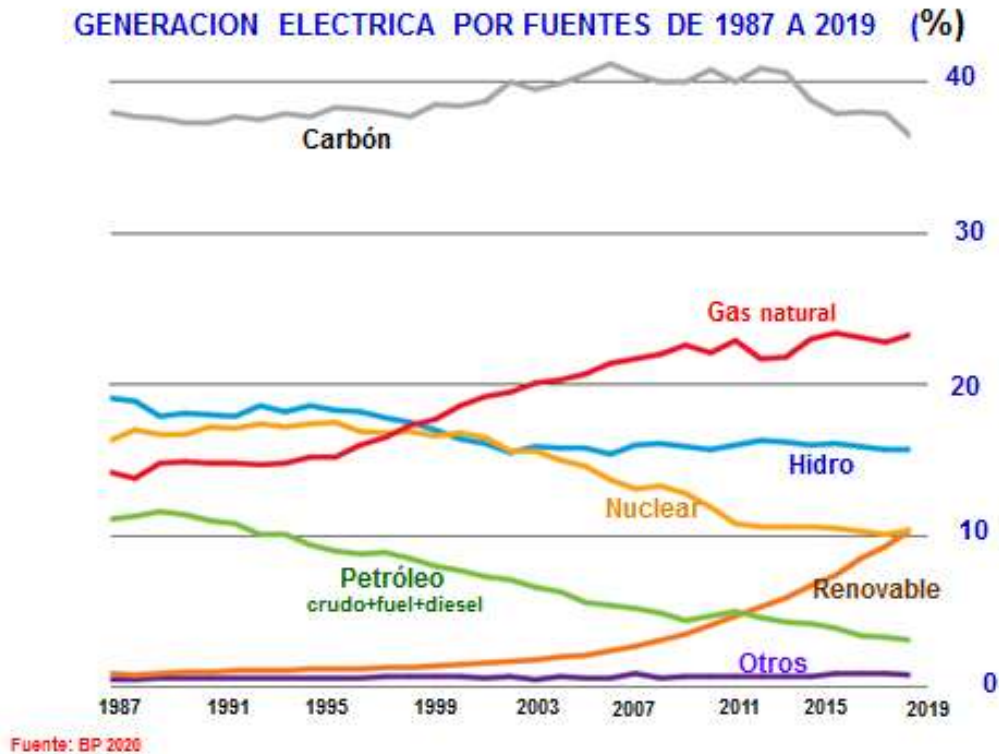
SINTESIS DE OPORTUNIDADES Y BARRERAS.

Las oportunidades para desarrollar la energía FV en Cuba están dadas por diversas ventajas propias de la energía FV, así como: buen nivel de potencial y radiación solar en todo el archipiélago existencia de centros y especialistas FV del país, posibilidad de encadenamientos, infraestructura creciente del MINEM, la UNE y otras empresas para afrontar el desarrollo FV. Mundialmente por: gran desarrollo FV tecnológico alcanzado, alto nivel de economía de escala, disminución de los costos, aumento de la eficiencias, aumento de la penetración - integración, creciente volumen de instalaciones en muchos países, variedad de mejores prácticas e innovaciones , cambio de paradigma en generación – consumo de electricidad, liderazgo de producciones FV por parte de China, entre otros aspectos ,

La barrera más importante es la falta de liquidez monetaria del país para el financiamiento de las instalaciones FV, aspecto complejo que debe tener un cuidadoso análisis integral.

COMPORTAMIENTO MUNDIAL DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

El incremento de las fuentes renovables de energía (FRE) ha sido muy rápido últimos años.

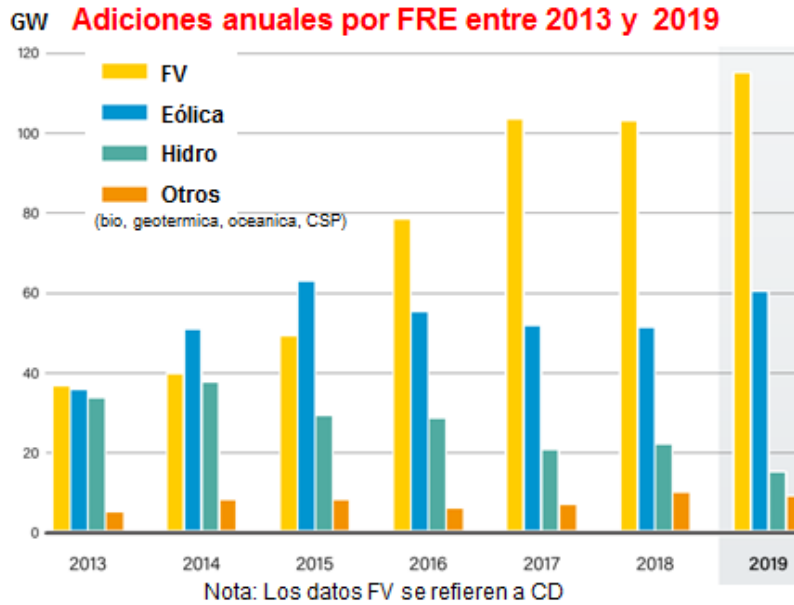


En 2019 la potencia FV añadida fue la mayor entre todas las fuentes de energía eléctrica

	2018 GW acumulado	2019 GW acumulado	2019 GW añadido
FRE (incluye hidroenergía)	2 387	2 588	201
FRE (sin hidroenergía)	1 252	1 150	198
Eólica	591	651	60
FV	512	627	115
Bioenergía	131	139	8
Geotérmica	13.2	13.9	0,7
CSP (Solar térmica concentrada)	5.6	6.2	0,6
Marina oceánica	0,5	0,5	0

Las instalaciones fósiles más importantes en 2019 fueron de: gas natural con 30 GW y de carbón 18 GW. Las de petróleo (incluye crudo, fuel y diesel) fueron muy pequeñas.

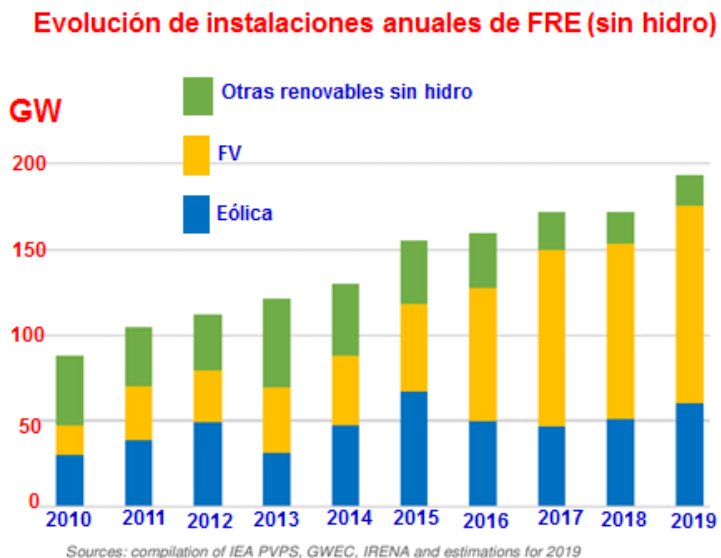
Comparación de potencia instalada entre 2013 y 2019 de FV, Eólica, y resto de FRE sin hidro. Nótese como sobresale la FV a partir de 2016.



Sin hidro la potencia añadida en 2019 fue de: 60 % FV, Eólica 32 %, Bioenergías menos del 5 % Otras (Geotérmica, CSP) menos del 1 % y Oceánicas prácticamente ninguna.

En términos no de potencia (GW), sino de energía (GWh, MWh, kWh) los % de las capacidades de generación se modifican debido a los distintos valores del factor de capacidad (factor de planta), aunque se debe destacar que el elemento más importante de la producción de generación eléctrica por distintas fuentes es el costo del kWh.

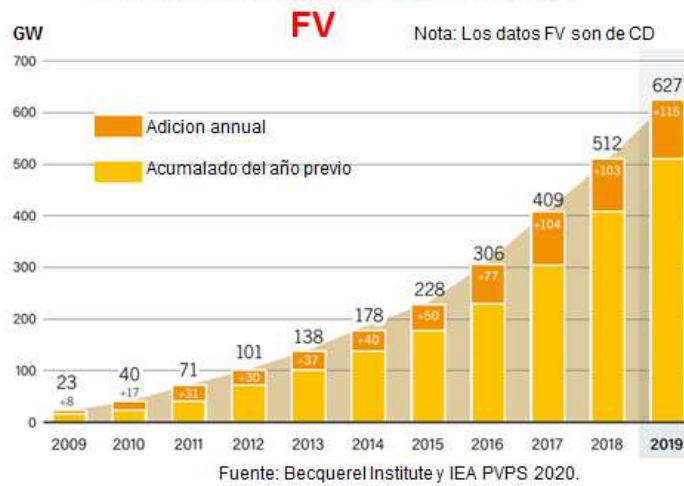
La figura anterior es de REN21 2020, de otras fuentes son coincidentes como la que mostramos a continuación de la IEA, que ha ido cambiando sus primeros criterios adversos sobre los pronósticos FV.



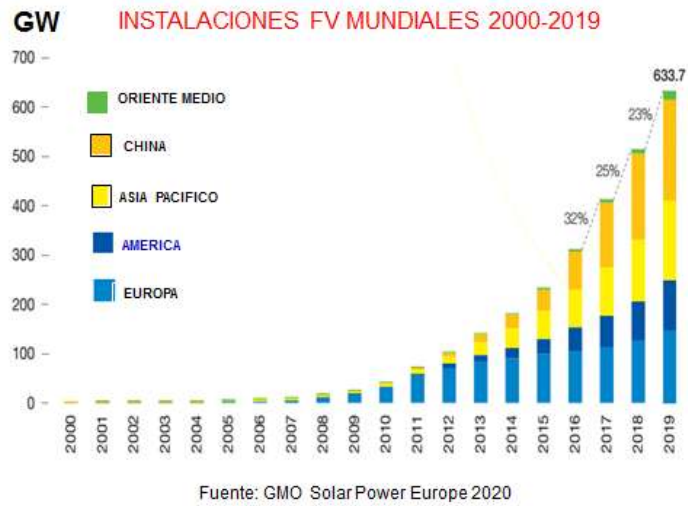
Evolución de las instalaciones anuales y acumuladas FV de 2009 2019

Las instalaciones FV no han dejado de crecer, la primera de 1 MW fue en 1975, en 2009 ya era de unos 23 000 MW en todo el mundo, incremento que ha continuado en forma notable evolución que se muestra en las siguientes figuras, de distintas fuentes, instalaciones de cada año, acumuladas FV, por capacidad y regiones:

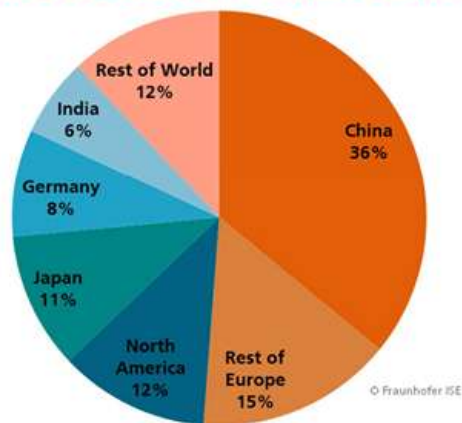
Instalaciones mundiales entre 2009 y 2019



Instalaciones FV acumuladas por regiones en los últimos 20 años

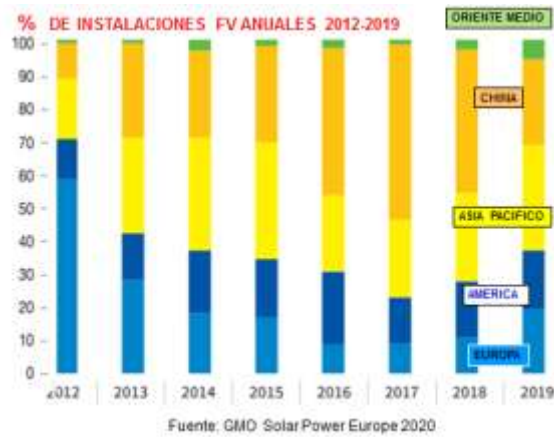


INSTALACION GLOBAL FV MUNDIAL EN 2019

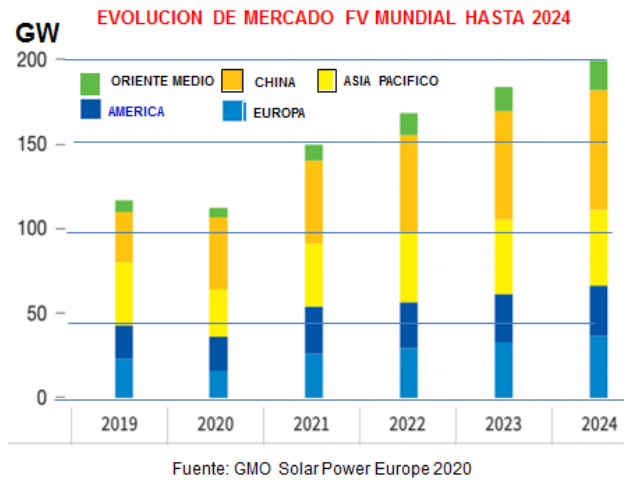


Data: IRENA 2020. Graph:PSE Projects GmbH 2020

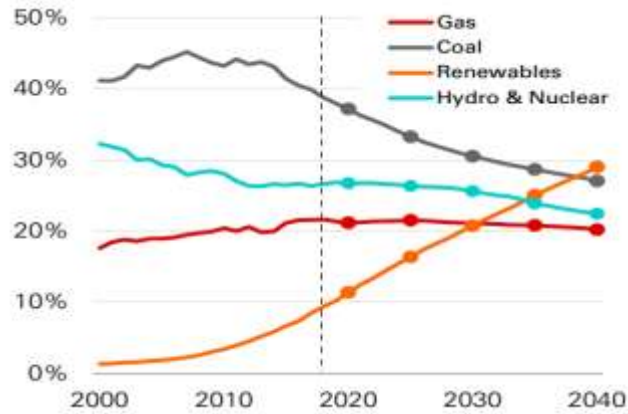
% de instalaciones FV anuales por regiones según Solar Power Europe



Se pronostica mundialmente el aumento aun mayor de las instalaciones FV



Pronostico de generación eléctrica hasta 2040 según petrolera British Petroleum



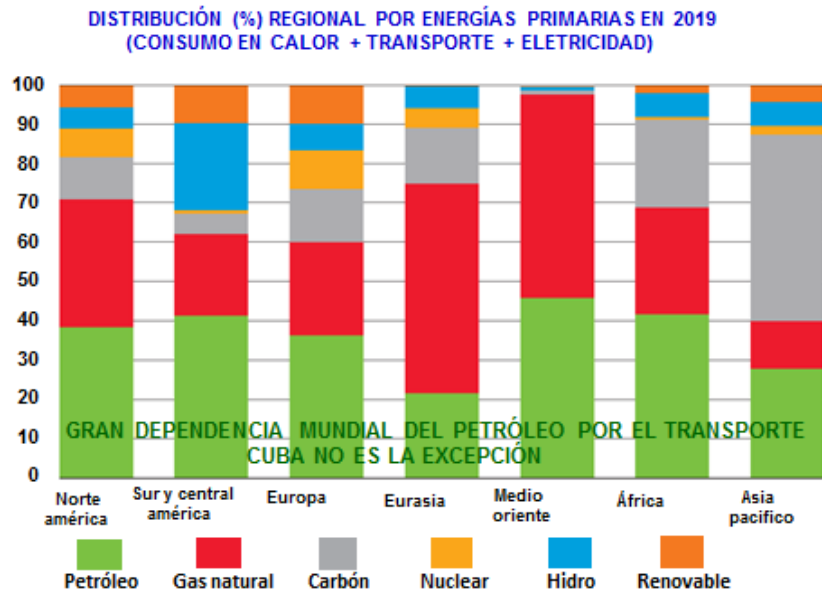
FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA SEGÚN IRENA 2020

FV	2010	2019	2030	2050
% de FV en matriz mundial	0.2 %	3 %	13 %	25 %
GW de potencia total instalada	39	620	2 480	8 519
GW/año de adición Anual	17	114	270	372
Costo de instalación USD/kWp	4 621	1 100	340 - 834	165 -481

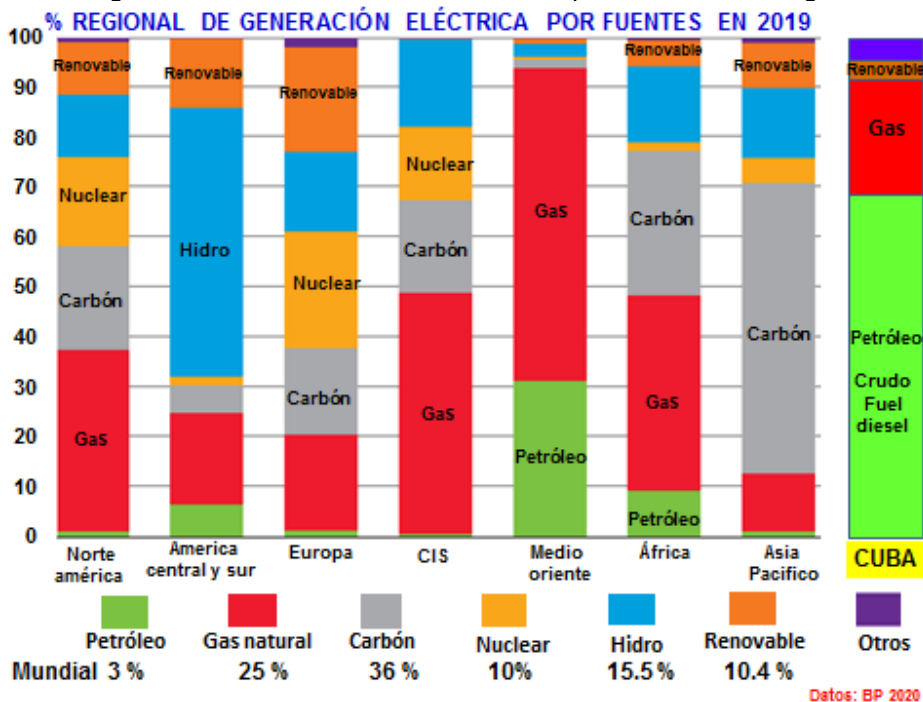
Mientras que los pronósticos de otras empresas líderes son similares a las de IRENA, existe más incertidumbre en los pronósticos de costos de combustibles fósiles a largo plazo.

ESCENARIOS ELÉCTRICOS

La energía primaria se encuentra disponible en la naturaleza antes de ser transformada, como en combustibles fósiles, solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa. La energía secundaria se obtiene a partir de la transformación de la energía primaria, para consumo específico: gasolina, electricidad, calor, gasoil, fuel oil, entre otras. La electricidad es fuente de energía secundaria y parte de una problemática energética general. Los combustibles fósiles como fuente primaria se utilizan para producir calor, electricidad y en el transporte. Existe una gran diferencia entre las cantidades de las componentes de fuentes para las energías primarias y las secundarias de generación eléctrica, que se muestra en las siguientes figuras.



Nótese como para la energía primaria prevalecen el petróleo y el gas natural, el petróleo debido en variantes más caras diesel y gasolina para el transporte de motores de combustión interna, factor en que la FV también tributa a evitar su consumo a través del crecimiento del transporte eléctrico. Para la generación secundaria eléctrica el comportamiento es el siguiente;



Lo más notable en la estructura de generación mundial de electricidad es la poca utilización de petróleo (crudo, fuel, diesel), que aproximadamente es de un 3 %, mientras que Cuba es uno

de los países del mundo que basa su generación eléctrica mayoritariamente en dichos combustibles fósiles líquidos, lo que constituye uno de los motivos por tener un alto costo del kWh generado, con una gran parte importada, lo que también, a diferencia de la energía solar, potencialmente atenta contra soberanía energética del país.

La comparación de los aportes por fuentes primarias y de generación eléctrica es el siguiente:

Energía	Petróleo	Gas	Carbón	Nuclear	Hidro	Renovable
Primaria %	33	24	27	4,3	6,4	4.9
Electricidad %	3	23	36	10	15,6	10,4

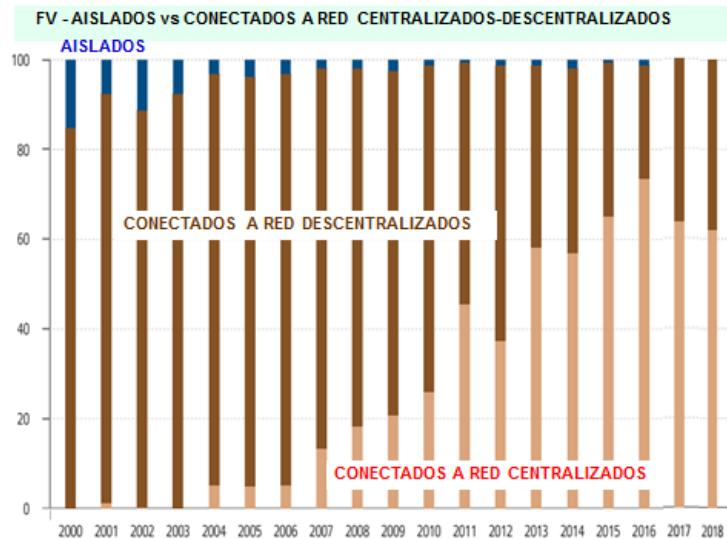
El 84 % del consumo de energía primaria (calor + transporte + electricidad) es fósil, el 33 % petróleo (crudo + fuel + diesel). Solo el 3 % de la electricidad mundial se genera con petróleo (líquido), Cuba es uno de los pocos países que generan su electricidad con petróleo.

GENERACIÓN CENTRALIZADA VS DESCENTRALIZADA.

La generación centralizada es la que se suministra en el 100 % a la red eléctrica, la descentralizada se consume in situ aunque un % puede inyectarse a la red. En Cuba ha sido importante comenzar y continuar con las instalaciones centralizadas de nivel utility, pero también es un buen momento para priorizar instalaciones FV de autoconsumo en industrias y comercios, donde el cliente pasa de ser consumidor a productor + consumidor de electricidad.

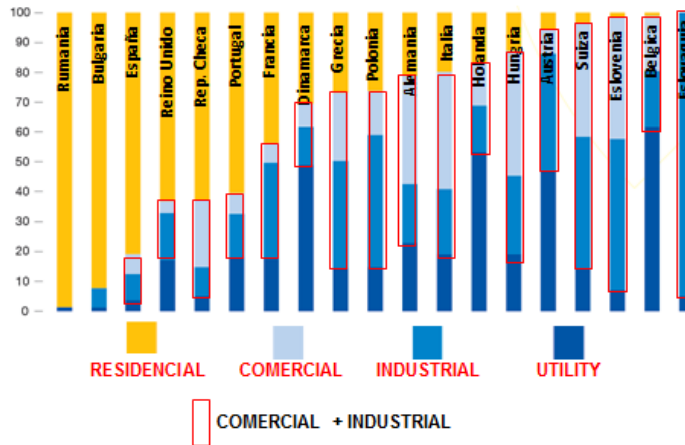
El desarrollo FV comenzó en el cosmos, después en forma distribuida y descentralizada aislada, siguió la descentralizada conectada a red en el sector residencial, posteriormente comenzó el aumento en instalaciones de mayor potencia centralizada en red eléctrica y después del año 2000 comenzó un rápido aumento de las instalaciones de nivel utility centralizadas (con inyección a red del 100 % de la generación FV).

Evolución de instalaciones centralizadas y descentralizadas desde el a 2000

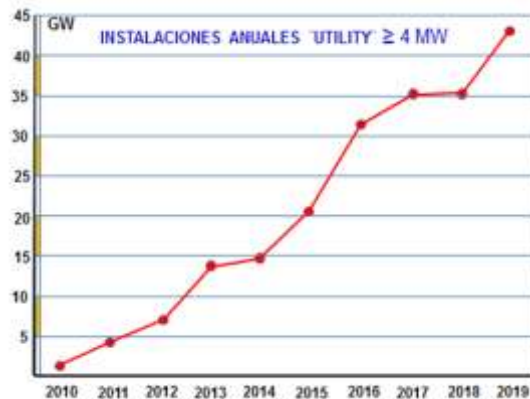


En la figura anterior se muestra como todavía en el año 2000 primaba el % de la FV descentralizada con énfasis en el sector residencial, posteriormente fue aumentando la descentralizada (fundamentalmente por el auge de instalaciones utility) sostenidamente hasta 2015 y a partir del 2016 comenzó un interesante nuevo aumento del % descentralizado debido sobre todo al aporte creciente de las instalaciones de autoconsumo industrial y comercial de potencias mayores que las residenciales. Actualmente la FV se genera y aplica crecientemente en todos los sectores pero con evoluciones y proporciones distintas entre utility, industrial, comercial, social y residencial por países, como se muestra en los ejemplos de Europa.

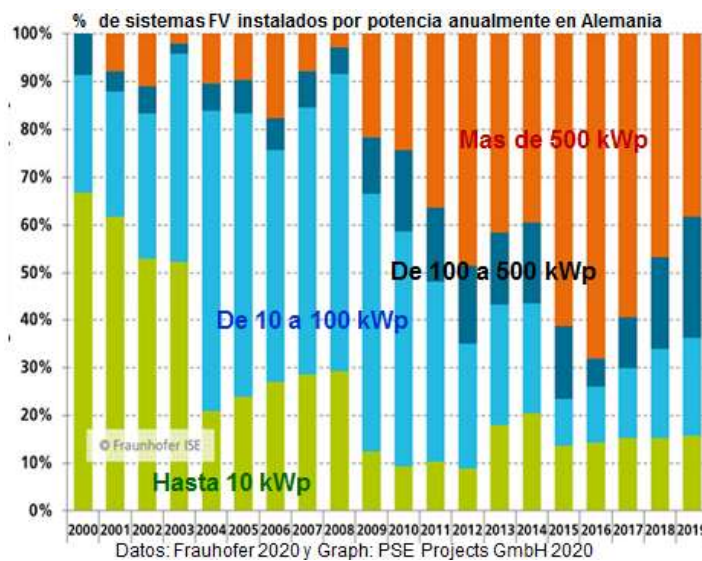
INSTALACIONES FV EN EUROPA HASTA 2018



Por su parte la de nivel utility ha continuado un rápido incremento mundial que se muestra en el siguiente gráfico para instalaciones FV de potencias mayores de 4 MWp .



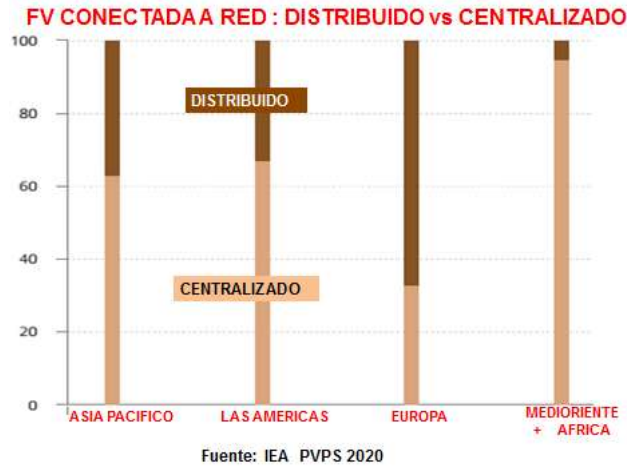
Uno de los países con mejores prácticas FV desde hace más de 30 años es Alemania, que comenzó con el plan de los 1000 techos residenciales en 1990, muy subvencionado y en 4 años se instalaron unos 1400 sistemas, hoy tienen más de 1 500 millones sistemas FV conectados a red, pero con una distribución por sectores que ha ido cambiando como se muestra en la siguiente figura, que sugiere que no se pueden repetir las experiencias cuando las alternativas se multiplican tanto con el transcurso de los años, como es el caso de la FV.



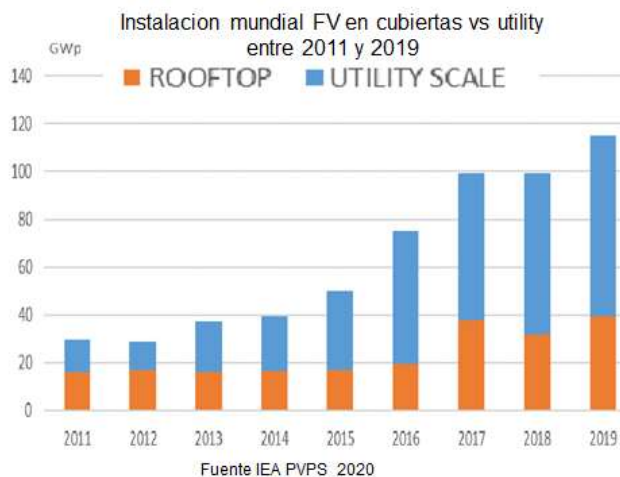
En Alemania en 2019 el 1 % de las instalaciones en número tenía el 36 % de toda la capacidad FV del país y el 61 % era la de instalaciones menores de 10 kWp por sistema. Este comportamiento es similar al de otros países históricamente paradigmas del sector residencial.

Instalaciones Alemania 2019	Número en %	Potencia en %
Menos de 10 kWp	61	15
De 10 a 100 kWp	36	34
De 100 a 500 kWp	2	15
Mas de 500 kWp	1	36

La relación porcentual de instalaciones centralizadas vs descentralizadas es también muy disímil por regiones como se muestra a continuación.



Todos los sectores aumentan en términos absolutos las instalaciones FV.



El número de instalaciones de nivel utility ha aumentado notablemente en los últimos 10 años :
PAISES CON MAS PLANTAS FV > 4 MWp EN JULIO DE 2019

Pais	Numero	Total MW	MWpor planta	Pais	Numero	Total MW	MWpor planta
China	1 685	68 913	40	Chile	104	3 026	29
EE.UU.	1 724	40 999	24	Brasil	40	2 903	72
India	961	30 227	32	Sur Africa	45	2 341	52
Re.Unido	879	6 649	7	Filipinas	64	1 954	30
Alemania	724	6 012	8	Canada	140	1 953	14
Japón	326	6 074	18	E. A. U,	5	1 776	355
España	253	5 871	23	Italia	181	1 692	9
México	47	5 088	108	Tailandia	118	1 274	11
Vietnam	38	3 423	90	Rusia	96	1 346	14
Francia	508	4 580	9	Turquia	117	1 054	9
Australia	90	5 420	60	Egipto	31	1 607	52

TOTAL: 8 204 PARQUES, 206,2 GW, 25 MW PROMEDIO/PARQUE . FUENTE: WIKISOLAR 2020

El promedio de potencia por planta FV fue creciendo, en 2019 era de 25 MWp por planta.

Para Cuba habíamos recomendado comenzar las instalaciones por plantas utility pequeñas muy distribuidas con vistas a aplanar la fluctuación de generación FV variable por la presencia de nubes. Con el paso del tiempo y siguiendo las instalaciones FV en forma distribuida se debe aumentar la potencia de las plantas, aspecto que trataremos más adelante.

Las instalaciones de aún mayores potencias también fueron aumentando notablemente. El primer parque fue de 1 MW denominado Lugo instalado en EE.UU en 1975, el segundo el Carissa Plain de 5.6 MW en 1985 EE.UU., pero las condiciones y tecnología para grandes parques no estaba suficientemente madura y realmente fue a partir del año 2005 cuando comenzó un rápido incremento de planta FV mayores, como se muestran a continuación en los records por año por potencia de parques FV instalados:

Aumento de las potencias FV records por año.

año	País	MWp
2005	Alemania	6.3
2006	Alemania	11.4
2008	España	60
2010	Canadá	97
2011	China	200
2012	EE.UU.	290
2014	EE.UU.	550
2015	China	850
2016	China	1 547
2019	India	2 050
2020	India	2 245

Fuente; wikisolar 2020

El número de instalaciones FV aún de mayores potencias también ha aumentado notablemente en potencia y por número en países de la forma siguiente: A mediados de 2020 - 68 parques FV poseían entre 200 MW y más de 2 000 MW:

68 parques en 15 países que tienen entre 200 y 2 245 MW

País	EE.UU.	India	China	México	Brasil	Australia	EAU	España
Numero	28	11	9	3	3	2	2	2
País	Ucrania	Egipto	Vietnam	Francia	Saudarabia	Chile	Japón	
Numero	2	1	1	1	1	1	1	

El promedio de potencia por parque es de unos 500 MW FV

CONSUMO ELECTRICO POR SECTORES EN CUBA

Es importante para establecer una correcta estrategia de FRE, conocer la situación y definir las necesidades de generación eléctrica para el país. Según datos públicos del Anuario Estadístico de Cuba 2018 la evolución de la generación - consumo eléctrico tenía el siguiente comportamiento:

	Total	Total sin Perd+insum	Estatal	Industria +insumo	Insumo	Ind, sin insumo	Población	Pérrdas	Pérd +insum
2013	19 156,4	15087.9	8 493,3	4 898,3	1 041,6	3887.7	7 736,2	2 926,9	3968.5
2014	19 366,1	15392.2	8 399,1	4 622,3	1 012,6	3609.7	8 005,7	2 961,3	3973.9
2015	20 288,0	16161.1	8 684,5	4 713,0	992,7	3720.3	8 468,3	3 135,2	4126.9
2016	20 458,6	16283.2	8 532,3	4 743,5	1 058,2	3685.3	8 809,1	3 117,2	4175.4
2017	20 558,1	15520.2	8 485,5	4 854,5	1 890,8	2963.7	8 895,5	3 177,1	5067.9
2018	20 837,0	15589.2	8 534,8	4 920,4	1 958,2	2 962.2	9 012,6	3 289,6	5247.8

Cuba, como mencionamos anteriormente, de acuerdo con la comparación mundial, tiene un % bajo de consumo del sector industrial. En la tabla anterior se muestra el incremento del consumo residencial (en color azul), aspecto positivo que tributa a una mayor calidad de vida de la población. Pero en el sector industrial (en color rojo) el consumo inclusive ha disminuido. El problema no es tratar de bajar en términos absolutos el consumo residencial más allá de lo que permite la eficiencia energética, sino de la necesidad del aumento absoluto y porcentual,

con eficiencia energética y de mayor generación eléctrica para los sectores industriales y económicos del país. En este sentido, en "Energía FV para Cuba" se argumenta detalladamente las oportunidades que brinda casualmente la FV para el aumento del consumo del sector industrial, cuidando siempre de un buen comportamiento de la eficiencia energética.

CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN CUBA

Cuba ha realizado posterior al triunfo de la revolución un notable aumento de la generación eléctrica, aspecto que está planteado continuar de acuerdo con las necesidades del desarrollo económico del país. Para los análisis comparativos al respecto, a continuación mostramos de acuerdo con las fuentes indexmundi y Banco Mundial, el nivel de consumo per cápita de electricidad en 2018 de países con promedios de kWh/año por habitante mayores que el de Cuba. El dato de Cuba es de la ONEI ya que el de la otra fuente consultada es menor.

PAIS	kWh/Habit.	Singapur	7,954	R.ino Unido	4,749	B.Hercegovina	3,083
Islandia	51,467	Suiza	7,049	Malta	4,726	Ucrania	3,031
Noruega	22,747	Francia	6,692	Italia	4,715	Macedonia	3,030
Kuwait	19,812	Alemania	6,668	Bulgaria	4,582	Surinam	2,927
Bahráin	18,099	Israel	6,528	Montenegro	4,571	Bután	2,850
Qatar	15,756	Rusia	6,400	Portugal	4,533	Irán	2,846
Finlandia	14,951	Eslovenia	6,374	Malasia	4,304	Turquía	2,844
Canadá	14,553	P. Bajos	6,344	Serbia	4,212	Turkmenistán	2,789
Suecia	13,295	Omán	6,269	Chile	4,085	Tailandia	2,736
ee.uu:	11,851	PuertoRico	5,913	Libia	4,042	Argentina	2,707
E.AU	11,669	Rep.Checa	5,834	China	4,018	Andorra	2,586
Luxemburgo	10,689	HongKong	5,800	Hungría	4,007	Líbano	2,575
Islas Caimán	10,266	Japón	7,480	Polonia	3,889	Brasil	2,438
Liechtenstein	10,211	Austria	7,346	Lituania	3,759	Rumania	2,313
Taiwán	10,082	Bélgica	7,101	Sudáfrica	3,740	Nauru	2,303
Sur Corea	9,872	Estonia	7,068	Croacia	3,730	Panamá	2,291
Australia	9,774	Dinamarca	5,684	S.Cr.Nieves	3,643	Venezuela	2,271
N. Caledonia	9,687	I Malvinas	5,525	Letonia	3,534	Santa Lucía	2,074
Arabia Saudí	8,951	Grecia	5,286	Seychelles	3,440	México	2,054
N.Zelanda	8,690	Irlanda	5,067	Barbados	3,377	Azerbaiyán	2,015
Macao	8,373	Kazajistán	5,027	Bielorrusia	3,329	Mauricio	1,998
Brunéi	8,369	Bahamas	4,972	A.yBarbuda	3,210	Costa Rica	1,967
Tr. y Tobago	8,117	Eslovaquia	4,893	Uruguay	3,197	Mongolia	1,911
Groenlandia	8,112	España	4,855	Georgia	3,095	Cuba	1 858

AUTOCONSUMO FV

En el capítulo 15 del Libro FV para Cuba (pag. 339 – 348) se muestran ejemplos para el desarrollo del autoconsumo FV en las industrias de grandes consumidores de electricidad en Cuba, como para: bombeo de agua, refrigeración, hoteles turísticos, siderurgias, otros grupos grandes consumidores industriales, donde se ofrecen variantes de instalaciones FV en 605 industrias existentes a partir de un análisis de los **2275** clientes que más consumían energía eléctrica en el país en 2015, como las que se muestran a continuación, además de las de hoteles e instalaciones turísticas, refinerías entre otras industrias:

83 ESTACIONES DE BOMBEO DE >100 000 kWh/mes	24 815 109 kWh/mes	Potencial 230 MW FV
22 FRIGORIFICOS CON > 100 000 kWh/mes	- 3 444 415 kWh/mes	- Potencial 31 MW FV
26 INDUSTRIAS CON > 450 000 kWh/mes	- 58 475 781 kWh/mes	- Potencial 538 MW FV
34 INDUSTRIAS ENTRE 300 000 y 450 000 kWh/mes	-7 882 073 kWh/mes	-Potencial 70 MW FV
121 INDUSTRIAS " 100 000 : 300 000 kWh/mes	- 16 530 000 kWh/mes	- Potencial 130 MW FV
320 INDUSTRIAS CON < 100 000 kWh/mes	- 12 573 400 kWh/mes	- Potencial 112 MW FV
		Potencial total FV 1147 MW FV

A la relación de las industrias existentes se deben sumar las ampliaciones y las nuevas industrias y comercios que se instalaran en el país, que se debe lograr con el máximo de eficiencia energética, aunque se deberá aumentar el consumo de electricidad. El Autoconsumo FV industrial puede ser: sin excedentes con un kit de autoconsumo necesario para controlar el funcionamiento del inversor de manera que se garantice la no inyección a red, que debe ser certificado por un laboratorio externo, o con excedentes en que el inversor permite monitorizar la energía total generada en tiempo real, la energía auto consumida y la energía excedente. Con respecto al per cápita de consumo de electricidad, en los ejemplos siguientes de la tabla se muestra como inclusive disminuye la generación en TWh en países de altos per capititas a

cuenta de medidas para el aumento de la eficiencia energética y la disminución correspondientemente del factor de intensidad energética.

Pais	EE.UU	Francia	Alemania	Reino Unido	Finlandia	Italia	Noruega	Suiza
Percapita kWh 2018	11 851	6 692	6 668	4 749	14 951	4 715	22 747	7 049
TWh 2018	4467.4	574.2	643.5	332.9	70.2	289.7	147.1	69.4
TWh 2019	4401.3	555.4	612.4	323.7	68.7	238.8	134.8	68.3
% menos	- 1.3 %	- 3.3 %	- 4.8 %	- 2.8 %	- 2.1 %	- 2 %	- 8.2 %	- 1.6 %

Por supuesto que en Cuba podemos y debemos disminuir el consumo de electricidad por el aumento de la eficiencia energética, al mismo tiempo es necesario aumentar el consumo para el incremento del desarrollo económico de Cuba, con énfasis en las producciones industriales de todo tipo incluyendo la del turismo. El aporte de la FV tanto desde la red centralizada como en el autoconsumo descentralizado puede y debe ser muy significativo.

EVOLUCION Y PRONOSTICOS DE LA GENERACION FV

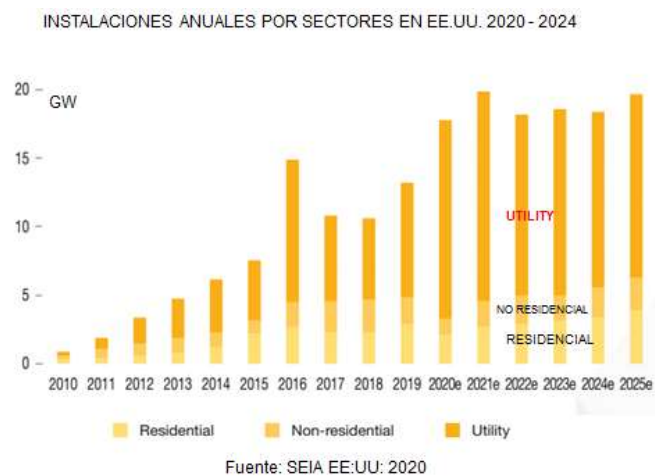
Es necesario conocer cómo se va a comportar el desarrollo FV en todo el mundo ya que está muy relacionado con las posibilidades específicas locales y por país, en este sentido, todos los pronósticos, como los de la IEA, BP, BLOOMBERG, IRENA, IHSMARKIT, LAZARD, FRAUNHOFER, SOLAREUROPE, entre otros, aseguran el aumento sostenido del desarrollo FV mundial, que se convertirá junto con la eólica, paulatina y sostenidamente, en las fuentes más importantes y mayoritarias de generación eléctrica mundial. Elemento sumamente importante debido al aseguramiento del abaratamiento sostenido de ambas fuentes debido a la economía de escala de las mismas y a la posibilidad de acceder a muchos ejemplos de buenas prácticas producto de una buena vigilancia tecnológica por parte nuestra, o sea, innovar en lo que podemos innovar, sin la necesidad de descubrir lo que ya está descubierto, también importante para poner los recursos donde haga realmente falta.

En "FV para Cuba" se muestran pronósticos de diversas fuentes sobre la evolución futura de la generación eléctrica mundial todas coinciden en mayor o menor medida a al paulatino predominio de las FRE, la eólica y la FV en primeros lugares.

EJEMPLOS DE EVOLUCION FV EN REGIONES DE PAISES

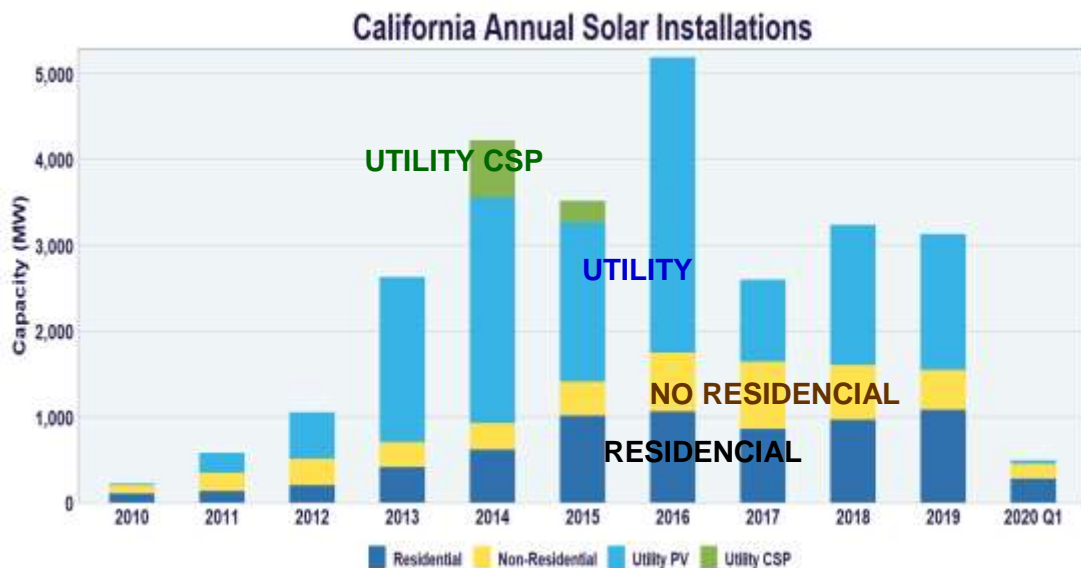
El desarrollo FV depende de las características de cada país, en el conocimiento de diferentes comportamientos por países está la posibilidad de seleccionar soluciones más adecuadas de acuerdo con las condiciones específicas reales de cada país. Veamos algunos ejemplos

EU:UU:



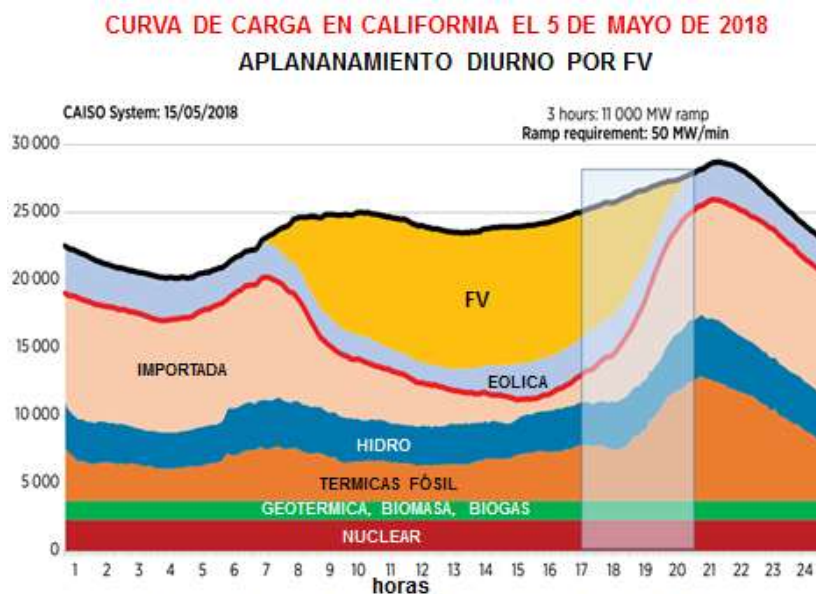
En EE.UU. las instalaciones utility se han vuelto las predominantes

CALIFORNIA en EE.UU. es el Estado con mayor desarrollo FV, en 2020 cuenta con 12 338 MW FV instalados, que generan 28 463 GWh, unos 39 millones de habitantes, superficie de 423 970 km². La penetración - integración FV es de un 20 %, La distribución por sectores residencial, no residencial (industria, comercio, social), utility y CSP es la siguiente:



El 2020 corresponde al primer trimestre del 2020. Nótese que a partir del año 2012 se instala más de 1 000 MW FV cada año y posteriormente 3 000 MW año. Todos los sectores aumentan en potencia pero porcentualmente aumentan más los de nivel utility, también el no residencial y en sectores de industria y comercio,

El siguiente gráfico muestra como la FV aplana durante el día 15 de mayo de 2018 la curva de carga en California.

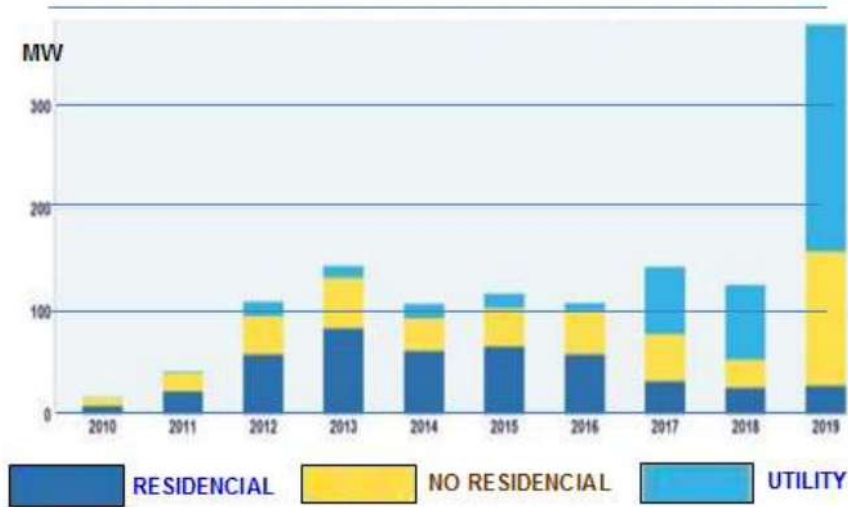


Un elemento frecuentemente planteado para limitar la penetración FV en Cuba es la de no tener una red eléctrica interconectada con otros países como los de Europa, pero si bien la interconexión ayuda a la gestión del despacho eléctrico de la red, no es la causa fundamental del auge de la FV. Hemos argumentado y tenemos muchos ejemplos al respecto, como Hawaii,

HAWAII. Lejos de todo, en el medio del océano Pacífico, de 1.5 millones de habitantes, inclusive con sus islas no interconectadas entre sí. Es el Estado que tiene la tarifa de pago por

kWh más cara de los EE.UU., debido a que depende en gran medida, al igual que Cuba, de la importación de combustible fósiles. La evolución de sus instalaciones FV ha sido la siguiente.

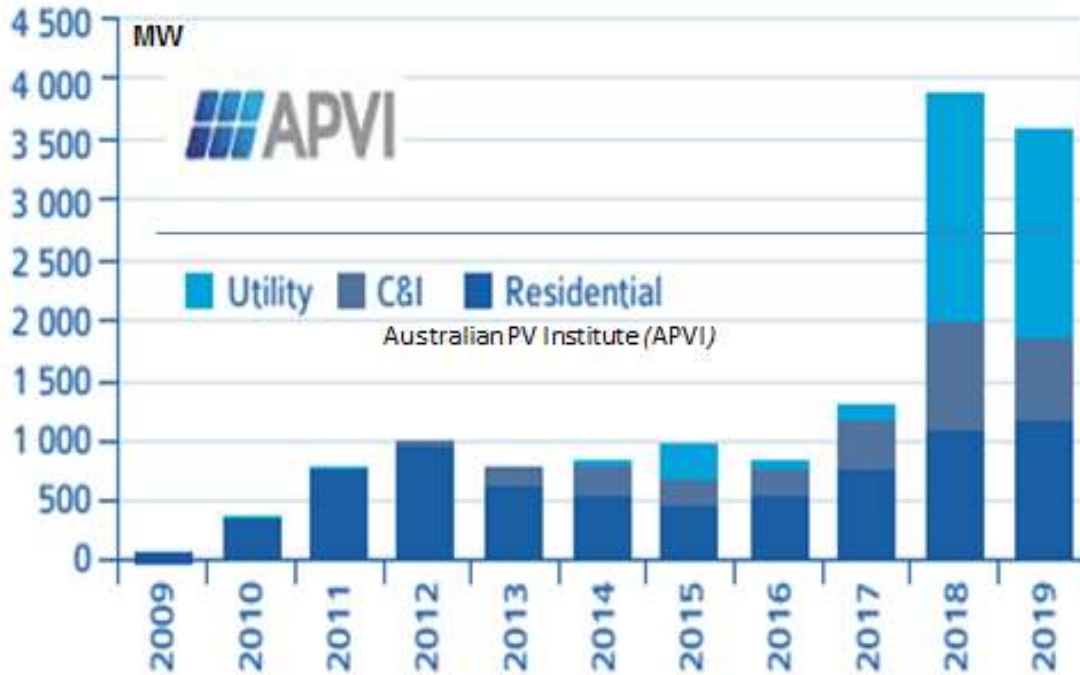
INSTALACIONES FV ANUALES EN HAWAI



En Hawaii se instala desde el 2013 más de 100 MW FV cada año y en el 2019 más de 300 MW FV. La penetración – integración FV es de un 8 % y sigue creciendo. El objetivo es llegar en Hawái a un 40 % de FRE en 2030 y del 100 % para el 2045.

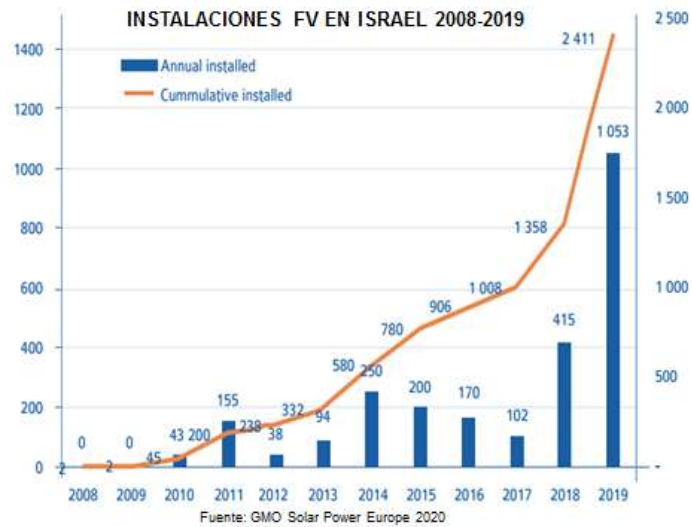
AUSTRALIA es un ejemplo con otras aristas, antes que todo su enorme superficie, donde tiene solo unos 25 millones de habitantes, algo más del doble que Cuba. A finales del año 2019 contaba con unos 16 000 MW FV instalados, proceso que comenzó a incrementarse a partir del 2010, entre 2018 y 2019 instaló más de 7 000 MW FV.

EVOLUCION DE LAS INSTALACIONES ANUALES POR SECTORES EN AUSTRALIA

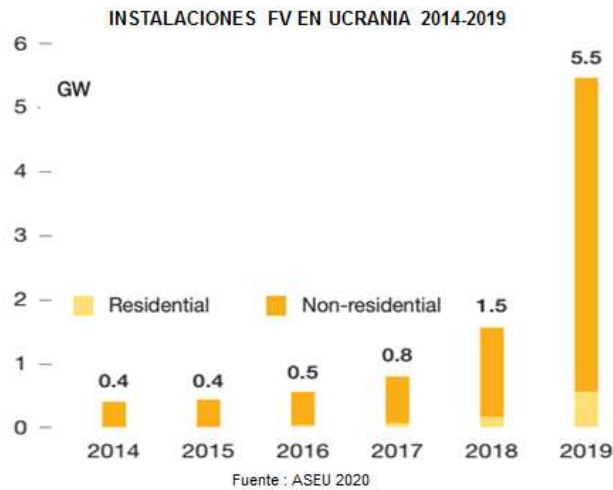


Fuente APVI 2020 Australian PV Institute

ISRAEL. Con unos 9 millones de habitantes, 20 770 km², unas 5 veces más pequeña que Cuba, tiene un acumulado de 2 411 MW FV en 2019, año en que instaló 1 053 MW FV.

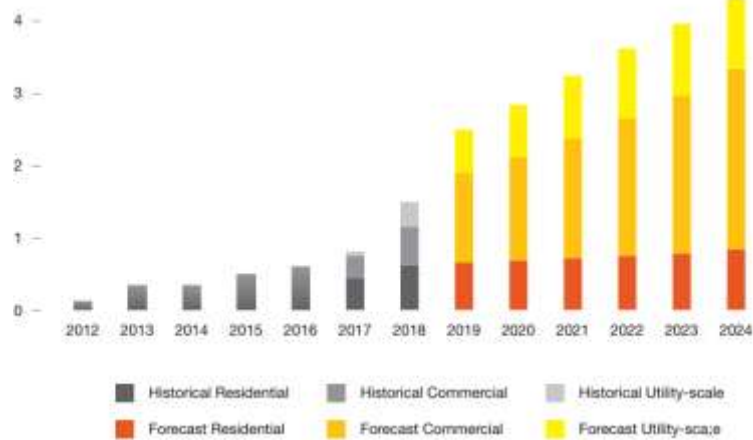


En **UCRANIA** se disparó en una instalación FV de 5 500 MW en solo un año en el 2019

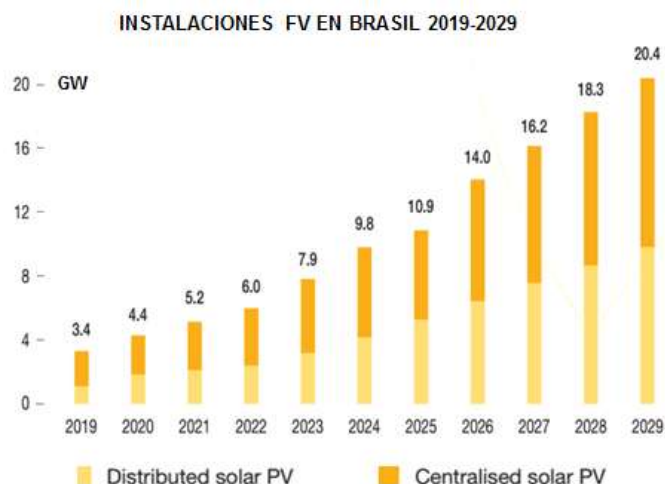


HOLANDA. De 17 millones de habitantes, pronostica un mayor desarrollo en instalaciones comerciales – industriales en los próximos años con instalaciones entre 2000 y 4000 MW FV/año

Comportamiento de instalaciones cada año hasta 2024 en Holanda



Brasil. Pronostica aumentos equitativos hasta 2029 entre instalaciones centralizadas y descentralizadas, comportamiento que también recomendamos para Cuba.



Fuente: ABSOLAR, EPE, 2020.

Las diversas ventajas de la FV se aplican a países con disímiles características: grandes-pequeños, en continentes o islas, con mucho o poco desarrollo económico, con posesión o no (importadores) de combustibles fósiles, con diferentes sistemas de redes eléctricas, conectadas o no con países vecinos, productores o no de tecnologías fotovoltaicas, con subvenciones o sin ellas; en fin, prácticamente todos los países del mundo, unos más que otros, se han ido incorporando a una estrategia fotovoltaica, que se ha ido convirtiendo en la fuente mundial de energía eléctrica más barata. No exponemos los comportamientos FV disímiles de otros muchos países atendiendo a la extensión limitada de este trabajo

PENETRACION FV

Tener en Cuba un 3 % de FV de la generación eléctrica para 2030 es muy inferior a la que actualmente ya poseen muchas regiones de países del mundo. A continuación se muestra la relación de países que cuentan hoy con penetración FV mayores del 3%.

Países con mayores penetraciones, instalaciones y consumos per cápita FV (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

En "Energía FV para Cuba se exponen detalladamente medidas de corto, mediano y largo plazo para aumentar la penetración FV en la generación eléctrica. Cuba contaba en 2019 unos 14 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, 30 000 GWh/año 2030, 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 serían las siguientes:

Para acumulado FV en año 2030	Penetración FV % del MIX	Percapita 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

La comparación con las penetraciones y per capitas FV alcanzada por muchos países sugiere que se puede y debemos aumentar sensiblemente la estrategia FV para Cuba en 2030.

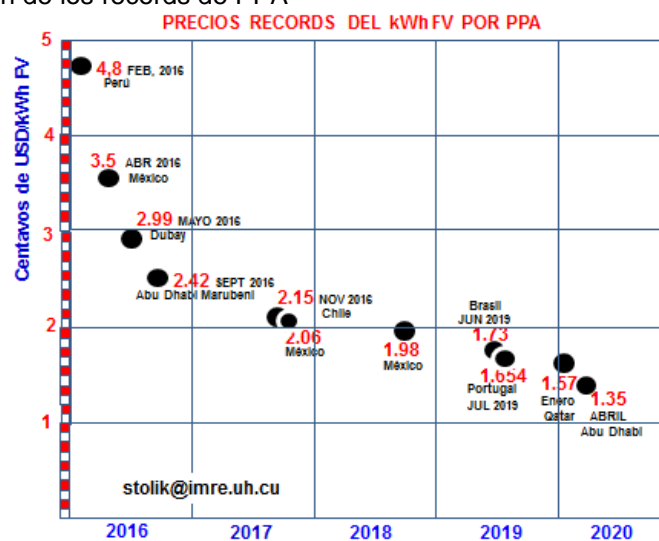
Las comparaciones específicamente entre islas muestran características similares como :

- La generación eléctrica, en elevado por ciento, se basa en combustibles fósiles.
- No poseen interconexión eléctrica con países vecinos.
- 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 temprano almacenamiento por baterías.
- La mayoría poseen estrategias para 100 % de generación eléctrica por FRE.

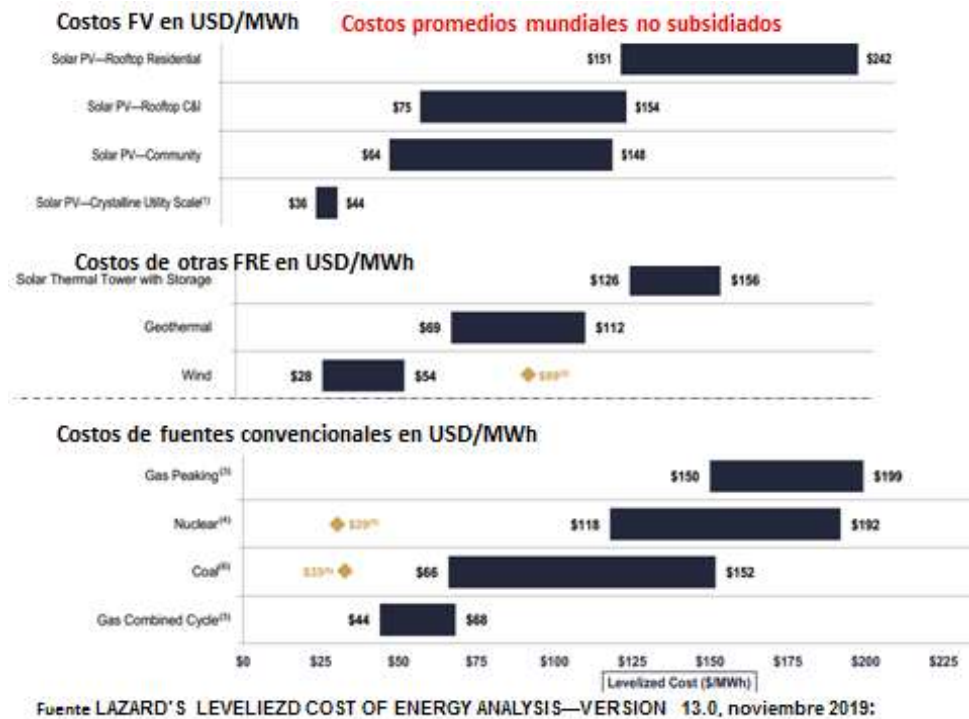
COSTOS FV

Recalcamos que la energía eléctrica FV y la eólica se han convertido en las más baratas entre 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.

El record de costo más bajo por contrato de compra venta del kWh (PPA) FV ha sido la de abril de este año 2020 en Abu Dabi de un increíble 1,35 centavos de USD/kWh FV. Para Cuba no es posible tener tan bajos precios por pago de kWh por PPA, un costo favorable con inversión extranjera en PPA de 20 años, sería por unos 5 centavos de USD/kWh, que es mucho menos que el costo actual del kWh en Cuba de combustibles fósiles en MLC. A continuación se muestra la evolución de los records de PPA



Según Lazard los costos de la energía eléctrica promedio mundial en 2019 era de:



COSTOS POR COMPONENTES DEL SISTEMA FV

Para el análisis y cálculo de costos se hace una detallada argumentación en otros trabajos anteriores, 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 (Son imprescindibles)

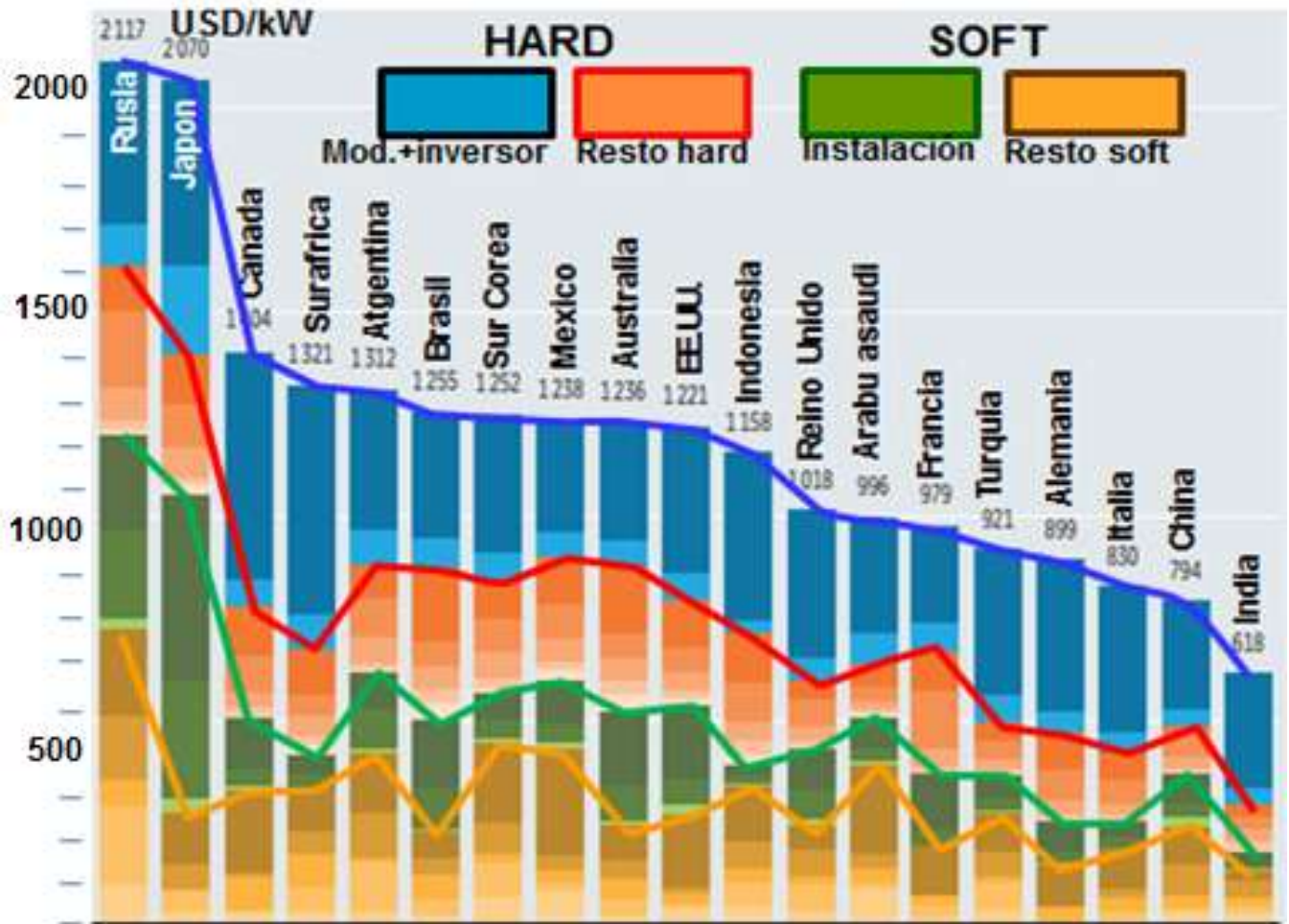
RESTO HARD: Estructuras y perfiles soportes. Cables y conectores DC y AC. Cajas de conexiones (string boxes). Materiales para instalación de inversor. Seguridad: cercas, cámaras, protección de incendios, Conexión a la red: interruptores (switch gears), pizarras de control, transformadores, metros contadores, sistemas de monitoreo, controles de datos (scada), sensores meteorológicos (radiación, temperatura). (No todas son imprescindibles)

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** (del modulo, inter conexiones, cables CD, voltajes AC, sistemas de monitoreo y control, test. **INSPECCIONES** (supervisión de la construcción, Salud. Seguridad. .

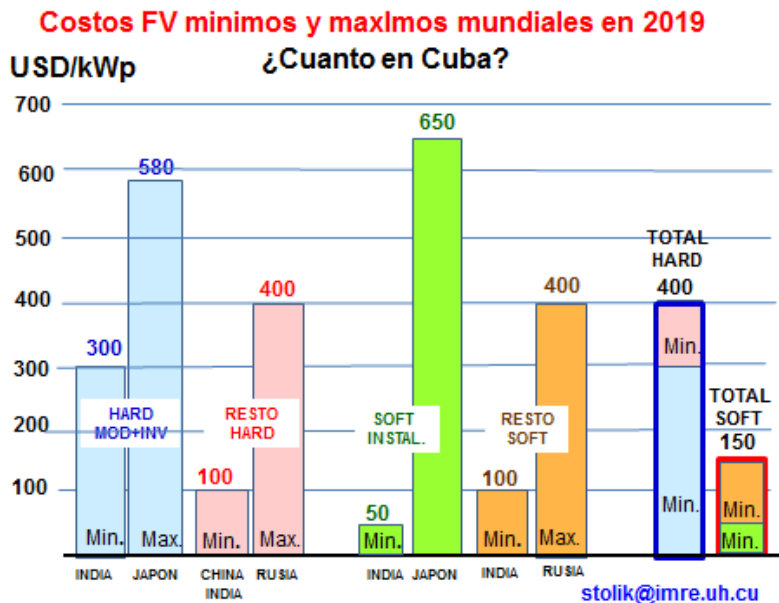
RESTO SOFT: COSTOS: Para cumplimiento de políticas. Permisos. Regulación ambiental. Estudios geológicos y topógrafos. Diseño. Preparación de documentación. Derechos y puesta en marcha de proyectos. Financiamiento para desarrollo y construcción del sistema FV. Margen EPC y/o para el desarrollo del proyecto. Ganancias, salarios, finanzas, servicio al cliente. Recursos humanos, alquileres, oficinas, suministros, servicios profesionales, tarifas. (No todas son imprescindibles)

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), de un grupo de 19 países, muy significativamente seleccionados por sus aportes a la capacidad FV mundial existente.

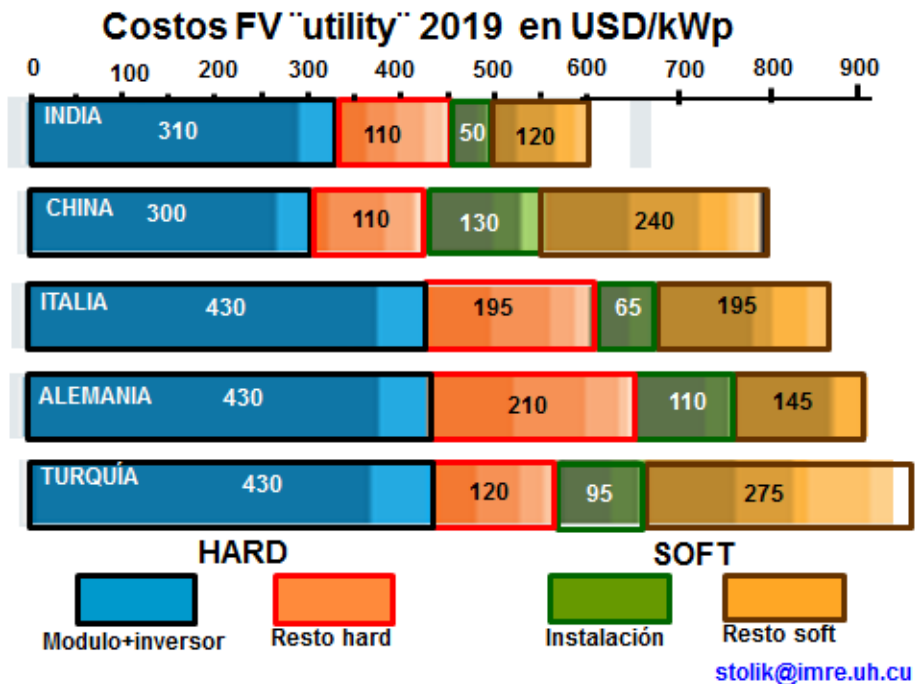
Costos por componentes hard y soft de una importante selección de países son los siguientes:



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.

Para el posible costo "Hard" en MLC en Cuba para instalaciones de nivel utility que se realicen con esfuerzo propio, radiación solar de 4 horas pico/día, 1440 al año y 36 000 en 25 años, de suponer un costo considerado todavía conservador para Cuba en MLC de 700 USD/kWp en componentes HARD, el kWh FV, podría aunque parezca increíble, ser menor, actual o próximamente, de 2 centavos USD/kWh FV, erogación en MLC, con tendencia a continuar disminuyendo (además del gasto en MN que se debe realizar para el costo "soft").

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, que se facilita con los contratos en PPA, 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 insumos que dependen de labor humana ("softcost": diseño, instalación, O-M, etc.).

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, que se logra a partir de cuándo el costo fósil total evitado durante un año se hace igual o 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 hasta 2030 y 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 nacionalmente me costaría en MLC más que importarlo. Por ejemplo en la FV, si para hacer el módulo FV, se hace más caro importar en divisas las componentes (celdas solares FV, vidrio. etivinilacetato, tedlar, marco de aluminio, sellantes, estaño) que importar el modulo completo terminado, entonces pondría preferiblemente el dinero ahorrado 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 algunos de los insumos que dan más negocio importarlos. Tenemos un análisis hecho al respecto en lo que respeta a la FV que 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, que tributa a lograr en pocos años al 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.

ESTRATEGIA FV

En la estrategia del país se plantea correctamente generar unos 30 000 GWh/año de electricidad y que un 24 % sea de fuentes renovables de energía (FRE), lo que de ser así, no obstante el aumento de la eficiencia eléctrica de generación, se necesitarán en 2030 alrededor de 2800 GWh más de los combustibles fósiles de los que se utilizan actualmente. Para mantener la misma cantidad que se consume hoy de combustible fósil hacia el año 2030, debemos pasar de un 24 % a un 30 % en FRE, pero para disminuir en la realidad el monto de quema de combustibles fósiles actual se necesitaría para 2030 una generación mayor del 30 % de FRE, es en este objetivo que 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 de:	Costo fósil evitado/año Millones USD	Financiamiento para "hard" añadido/año en MWp
300 MW	42	60
500 MW	70	100
700 MW	98	140
1000 MW	140	200
1500 MW	210	300

Si la FV va 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 reponen cada 30 años por duración del sistema FV y consideramos que el costo del MWp de reposición de los sistemas es de 1000 USD/kWp (que será en la realidad mucho menor), entonces las nuevas instalaciones FV comienzan a autofinanciarse. En el estudio hecho el autofinanciamiento completo se debe producir al llegar a una generación nacional por 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.

EL AREA

En repetidas ocasiones se me pregunta sobre la necesidad de áreas extensas para las instalaciones FV, en realidad la misma no es tanta como puede parecer.

De acuerdo con la eficiencia actual de los módulos FV, la instalación de 1 MWp cubre alrededor de 1.5 hectárea. Los módulos continúan aumentando su eficiencia, lo que irá requiriendo menos área de instalación. Como promedio en un plazo de 30 años el área necesaria promedio puede estar en menos de 1 hectárea por MW. Por lo que 1000 MW FV pudiera estar requiriendo 10 km² de unos 110 000 km² de superficie que tiene el país.

Los 3000 MW que proponemos para 2030 requerirían 30 km² y a más largo plazo, por ejemplo unos 10 000 MW FV en 100 km² para 2050, distribuidos por todo el país en suelos estériles, techos, cubiertas, laterales de vías, espejos de agua, diversas áreas de sombra e inclusive en combinación con producciones agropecuarias que están en auge denominada agro fotovoltaica.

Como ejemplo de cubrimiento y distribución mostramos a continuación un mapa de la isla dividida en unas 700 partes iguales de 12.5 km² cada uno, de tener un parque en cada uno de los "cuadrados", tendríamos 700 parques FV y la distancia promedio entre parques sería de unos 12.5 km, con menos parques la distancia referida se hace mayor, por supuesto que la distribución de instalaciones de los parques FV no sería tan homogénea.



La relación de cómo va cambiando la "geografía" de ocupación FV de área en función del número ascendente de plantas FV instaladas, del promedio de potencia por planta, del total de potencia FV nacional, sería la siguiente.

Número de Plantas FV	MW promedio Por planta	MW FV total del país	Área ocupada por cada Ha. FV	Separación media entre Plantas FV
100	2 MW	200 MW	55 000 Ha	33 km
200	3 MW	600 MW	18 500 Ha	23 km
300	4 MW	1 200 MW	9 166 Ha	19 km
400	5 MW	2 000 MW	5 500 Ha	16 km
500	6 MW	3 000 MW	3 666 Ha	15 km
600	7 MW	4 200 MW	2 619 Ha	13 km
700	8 MW	5 600 MW	1 964 Ha	12 km
800	9 MW	7 200 MW	1447 Ha	11 km
1000	10 MW	10 000 MW	1 100 ha	10 km

Nótese que para 1000 plantas de 10 MW FV la instalación FV nacional es de 10 000 MW FV, el área ocupada promedio por planta FV es de 1 ha cada 1100 ha, pero eso puede ser dentro de muchos años. Antes la ocupación FV es más pequeña.

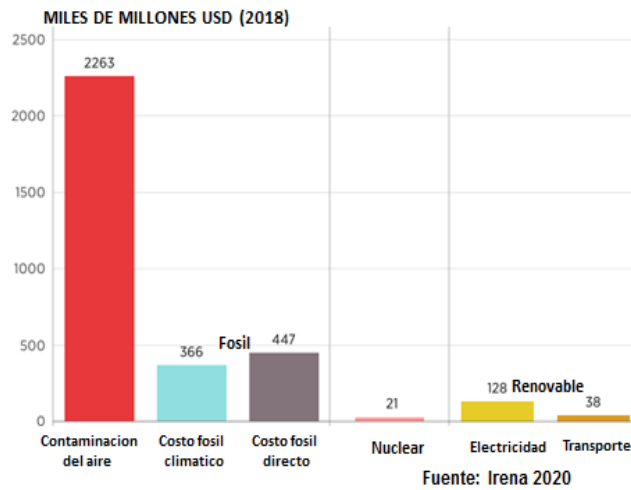
INVERSIONES Y SUBVENCIONES

Es una buena referencia el conocimiento sobre donde se gasta y donde se ponen los recursos y el dinero para el desarrollo económico, es este caso muy importante para la generación y consumo de electricidad. Es posible que algunos colegas se sorprendan de que el nivel más alto de subvenciones mundiales corresponda ampliamente al combustible fósil. En realidad todas las fuentes de energía nacieron, se desarrollan y continúan siendo subvencionadas. En esta ocasión actualizamos datos suministrados anteriormente, en base el estudio ENERGY SUBSIDIES IRENA 2020. "Evolution in the Global Energy Transformation to 2050", que utilizó y combinó los reportes de información sobre el tema de la OECD y la IEA de 2019.

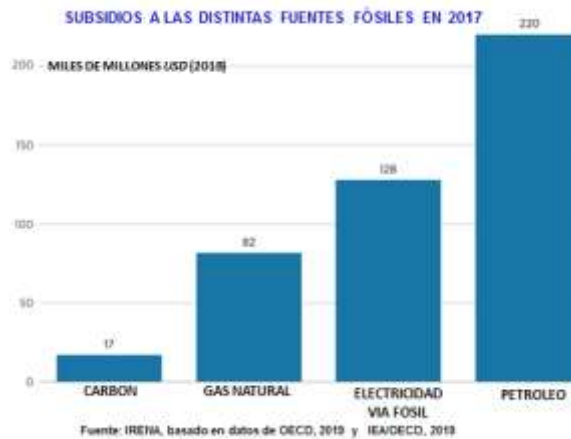
La subvención total a las distintas fuentes de energía en 2017 se estima por lo menos en 634 mil millones de USD, dominado por el subsidio a las fuentes fósiles con 447 mil millones, o sea el 70 % de la subvención mundial. Las FRE recibieron unos 128 mil millones, aproximadamente un 20 %, los biocombustibles unos 38 mil millones de USD (6 %) y la nuclear por lo menos 21 mil millones (3 %).

Del 70 % de subvenciones al petróleo (crudo, fuel, diesel y derivados líquidos) solo un 3 % corresponde a la generación de electricidad, la mayor parte se consume en transporte y calor.

SUBSIDIOS POR COMBUSTIBLES (FOSIL, NUCLEAR, FRE) Y DAÑO AMBIENTAL



En los subsidios a las fuentes fósiles predominan específicamente las del petróleo con 220 mil millones de USD en 2017, seguido por el gas natural con 82 mil millones y el carbón 17 mil millones (la más contaminante de fósiles).

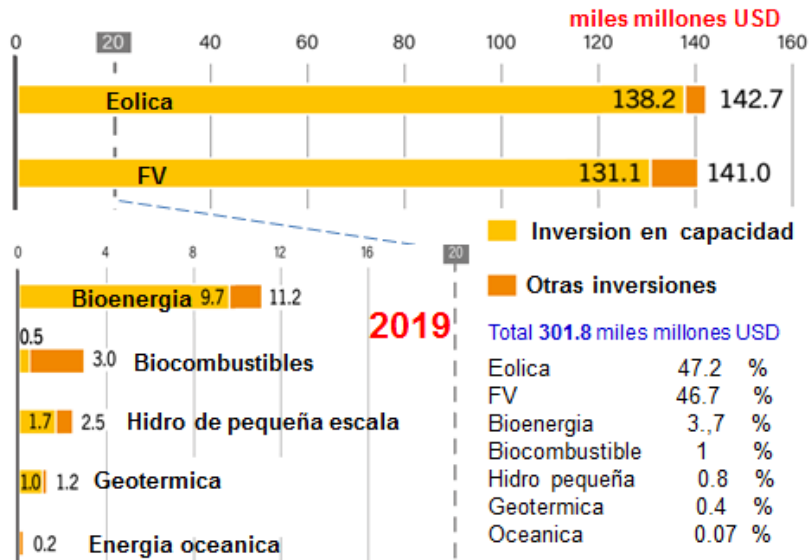


Se estima que la subvención a las Renovables en 2017 fue de 128 mil millones de USD en

generación eléctrica y 38 mil millones en biocombustibles. Se pronostica que se mantendrán y disminuirán paulatinamente, con una estimación que sería aproximadamente de unos 475 mil millones de USD/año hacia 2030 y 2050. CUBA no es la excepción, la subvención a la electricidad es muy alta, el pago total del kWh es muy inferior en promedio al costo de generación del kWh. El menor costo de generación eléctrica, sobre todo FV, tributa a la disminución paulatina de las subvenciones.

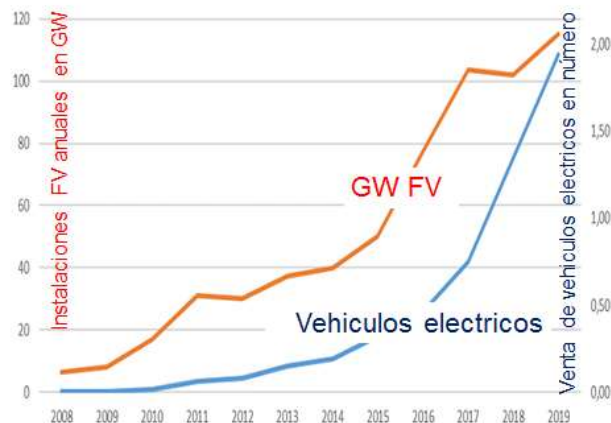
En el caso de las inversiones para el desarrollo de las FRE los recursos de nuevas instalaciones son fundamentalmente más para la eólica y la FV, en algunos países prima la eólica, en otros la FV, también los hay con recursos FV y eólicos similares, en dependencia de la existencia de los potenciales de radiación solar y de velocidades de los vientos.

INVERSION MUNDIAL EN TECNOLOGIAS RENOVABLES EN 2019.



BATERIAS ELECTRICAS

De la misma forma que hay insumos necesarios que no son competitivos hacerlo en Cuba, pueden haber otros que se pudieran hacer pero que actualmente no se producen el país. Un ejemplo sumamente importante sería poder hacer las baterías eléctricas nacionalmente, que aunque han bajado y siguen disminuyendo sus costos, seguirá siendo una importante componente en costo, al mismo tiempo irá creciendo notablemente su utilización, tanto para el almacenamiento diferido de electricidad como para la electrificación en líneas y sobre todo baterías para la movilidad del transporte eléctrico. La oportunidad de hacer las baterías eléctricas en Cuba está dada porque son el níquel y el cobalto dos de los elementos más utilizados para la producción de baterías de ion-litio y como es conocido, Cuba es una importante productora de níquel e inclusive es el tercer país con mayor reserva mundial de cobalto. No obstante, tanto las instalaciones FV y el mercado de vehículos eléctricos constituyen todavía una pequeña parte de los totales mundiales, las baterías eléctricas tributan al desarrollo de las dos, en que la velocidad de crecimiento de ambos es impresionante.



--	--	--	--	--	--	--	--	--

DESARROLLO DE INSTALACIONES MUNDIALES

Las instalaciones FV se expanden, en la siguiente tabla se muestra el número de países que en cada región cuenta con el rango de potencia total instalada, por ejemplo, entre 10 y 50 GW en Asia-Oceanía en 2019 hay 3 países, en Europa 3 y así sucesivamente.

Número de países con capacidades FV instaladas por potencias y regiones.

Plantas FV	Asia Oceanía	Europa	Amer. Norte	Amer.Sur y Caribe.	Medio Oriente	África	total	suma de países
≥ 200 GW							1	1
de 50 a 100 GW	1	1	1				3	4
de 10 a 50 GW	3	3					6	10
de 5 a 10 GW	1	3			1		5	15
de 1 a 5 GW	3	11	2	2	2	2	22	37
de 500 a 1000 MW	3	2		1	1		7	44
de 200 a 500 MW	3	3		6	3	2	17	61
de 100 a 200 MW	1	6		4		3	14	75
de 50 a 100 MW	4	3		4	1	10	22	99
de 10 a 50 MW	8	2		7	3	13	33	132
de 5 a 9 MW	4	1		7	3	5	20	152
≤ 4 MW	13	6		10	1	12	42	194
Totales	44	41	3	41	15	47		

Pronóstico de aumentos de capacidades FV para países líderes FV hasta 2024

Pais	MW	MW	MW	Veces de aumento
	2019	2024	En 5 años 2020-2024	
				2024/2019
China	205 187	485 987	280 800	2.4
EE.UU	76 119	178 869	102 750	2.3
India	42 031	111 881	69 850	2.6
Japón	62 951	95 076	32 125	1.5
Alemania	49 729	78 643	28 914	1.6
Australia	15 977	40 168	14 191	2.6
Sur Corea	10 872	28 456	17 584	2.8
Vietnam	6 458	23 720	17 262	3,8
España	10 641	27 734	17 093	2.7
Holanda	6 559	23 495	16 936	3,8
Francia	9 874	22 033	12 159	2,2
Taiwan	4 151	15 977	11 826	3.7
Brasil	4 460	15 935	11 475	3.7
Italia	20 600	31 904	11 304	1,6
Turquía	5 994	13 139	7 145	2.1
México	4 940	11 863	6 923	2.4
EAU	2 009	8 789	6 780	4.3
Saudi Arabia	478	7 185	6 707	15
Ucrania	5 937	12 058	6 121	2.1
Israel	2 104	7 999	5 895	3.8
Totales	547 071	1 240 101	693 030	2.27

Nótese el desarrollo rápido naciente de países sombreado en amarillo ..

A continuación se muestra las instalaciones FV acumuladas en diciembre 2019.

En orden numérico se consolidan los siguientes datos:

Países	Color	MW	MW del grupo	% del total
Del 1 al 10	banda amarilla	Con mas de 10 000	498 000	83 %
11 al 15	azul	Entre 5 000 y 9 999	33 300	5.5 %
16 al 26	carmelita	2 000 y 4 999	33 460	5.6 %
27 al 37	verde	1 000 y 1 999	13 780	2.3 %
38 al 44	rosada	500 y 999	5 397	0.9 %
45 al 61	azul morada	200 y 499	5 077	0.85 %

	PAIS	MW FV		PAIS	MW FV		PAIS	
1	China	205 000		Bielorusia	157		Cabo Verde	8
2	EEUU	75 000		Malta	154		Costa Marfil	8
3	Japón	62 000		Luxemburgo	150		Anta Barbud.	8
4	Alemania	49 000		Namibia	135		Oman	8
5	India	35 000		Senegal	134		Surinam	7
6	Italia	21 000		Chipre	129		Cook Is	7
7	Australia	16 000		Bolivia 2004	120		BES Islands	7
8	Reino Unido	13 400		Estonia	107		Somalia	7
9	Francia	10 570		Lituania	103		Laos PDR	7
10	Sur Corea	10 500		Guatemala			Kosovo	7
11	España	9 000	76	Cambodia	99		Tonga	6
12	Holanda	6 700	77	Zambia	96		Bahréin	6
13	Turquía	6 000	78	Kenya	95		Aruba	6
14	Ucrania	5 900	79	Jamaica 1074	93		Belice	6
15	Viet Nam	5 700	80	Colombia	90		Qatar	5
16	Bélgica	4 600	81	Noruega	90		Libia	5
17	México	4 400	82	Mongolia	89		US Virgenes Is	5
18	Taiwán	4 150	83	Mauritania	88		Burundi	5
19	Brasil	3 900	84	Myanmar	88		Samoa Amer.	5
20	Canadá	3 300	85	Mauricio	83		Venezuela	5
21	Tailandia	3 000	86	Uganda	82		Santa Lucía	4
22	Grecia	2 760	87	Guadalupe	81		Sierra Leona	4
23	Chile	2 650	88	Martinica	71		Uzbekistán	4
24	Suráfrica	2 560	89	Croacia	69		Moldavia 24	4
25	Suiza	2 520	90	Gana	63		Guyana	4
26	Rep Checa	2 070	91	Tunes	62		Montenegro	3
27	EAU	1 800	92	Burkina Faso	62		Latvia	3
28	Egipto	1 650	93	Nueva Caledonia	59		Albania	3
29	Austria	1 580	94	Libano	56		Trinidad Tobago	3
30	Rumania	1 390	95	Mozambique 85	55		Haití	3
31	Pakistán	1 330	96	Nepal 590 527	54		Togo	3
32	Polonia	1 300	97	Armenia	50		Montenegro	3
33	Hungría	1 280		Costa Rica	48		Benín 42	3
34	Israel	1 190		Guyana francesa	47		Botswana	3
35	Bulgaria	1 180		Kuwait	43		Liberia	3
36	Dinamarca	1 080		Palestina	43		Seychelles	3
37	Rusia	1 060		Corea norte	42		Solomon Is	3
38	Jordania	998		Ruanda	38		Kiribati	3
39	Filipinas	992		Azerbaiyán	37		Granada	3
40	Portugal	828		Irak	37		Tuvalu	2
41	Malasia	882		Polynesia franc.	36		Micronesia	2
42	Suecia	644		Guam	35		Marshall Is	2
43	Kazajstán	542		Madagascar	33		Siria	2
44	Honduras	511		Afganistán	32		St Kitts Nevis	2
	Eslovaquia	472		Barbados 637	25		Gambia 18	2
	Argentina	441		Ecuador 591 140	28		Bahamas	2
	Algeria	423		Nigeria	28		St Vincent Grd.	2
	Irán	367		Niger	27		Andorra	2
	Saudi Arabia	344		Macedonia norte	26		Niue	1
	Perú	341		Tanzania	26		Nauru 15	1
	Bangladesh	284		Malawi	23		Georgia	1
	Rep Dominicana	279		Mali	20		Is. Turcas-Caicos	1
	El Salvador	273		Congo	19		Gabon	1
	Singapur	255		Nicaragua	16		Rep Congo	1
	Yemen	250		Mayotte	15		Swatting	1
	Uruguay	248		Maldivas	14		Guinea Bissau	1
	Panamá	242		Samoa	14		Sudan del Sur	1
	Eslovenia	222		Guinea	13		Brunei Darsm	1
	Sri Lanka	215		Curazao	12		Timor Leste	1
	Finlandia	215		Eritrea	12		Anguilla	1
	Marruecos			Zimbabue	12		Palau	1
	Indonesia	198		Caimán Is	11		Papua N Guin	1
	Reunión Africa	191		Etiopia	11		Tokelau	
	Puerto Rico	165		Fiji	10			
		159		Serbia	10			

ASIA

EUROPA

NORTE AMERICA

AMER.LAT.y CARIBE

OCEANIA

MEDIO ORIENTE

En "Energía FV para Cuba" se expone un amplio capítulo sobre las diversas aplicaciones FV, solo mostramos 4 fotografías para distintos rangos de potencias en que la FV se aplica.



APLICACIONES FV MUY NUMEROSAS PERO DE POQUÍSIMA POTENCIA



IMÁGENES DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO RESIDENCIAL



AUTOCONSUMO FV QUE SE DESARROLLA RAPIDAMENTE

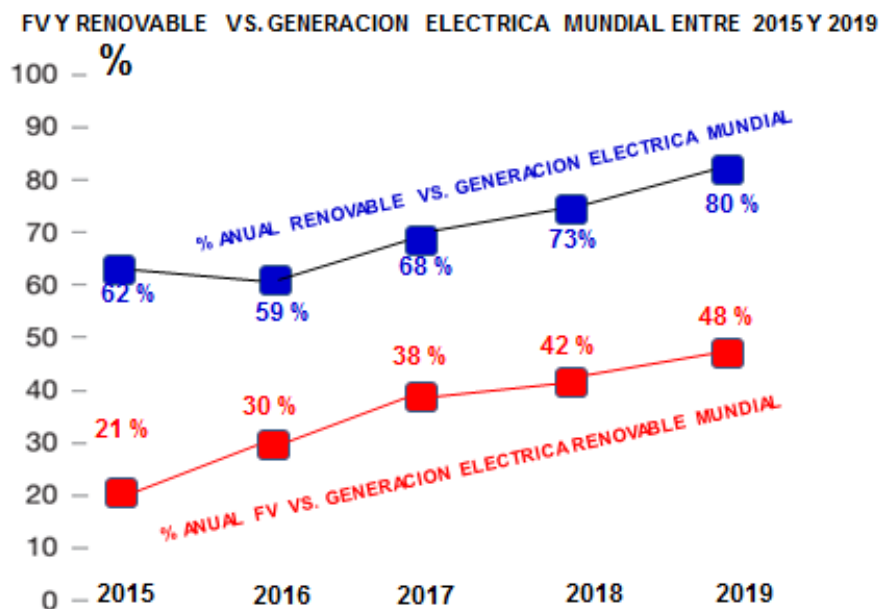
El autofinanciamiento va incrementándose con el aumento de instalaciones FV, que de llegar a tener 1500 MW FV instalados se sufragan por costo evitado 300 nuevos MW FV. De instalar 300 MW FV cada año debido al carácter acumulativo de la FV autofinanciada durante los 30 años de duración del sistema FV, la generación acumulada llegaría a tener 9000 MW FV, pero donde el costo evitado sobraría a partir de los 1500 MW FV acumulados.



PARQUES FV GIGANTES, RECORD > 2 000 MW

COMENTARIOS

Recalcamos que la evolución mundial de las nuevas instalaciones para la generación de electricidad continua incrementándose a favor de las FRE y en el grupo de las renovables la FV tiene el más rápido crecimiento, lo que debe sugerir tener un comportamiento similar en Cuba.

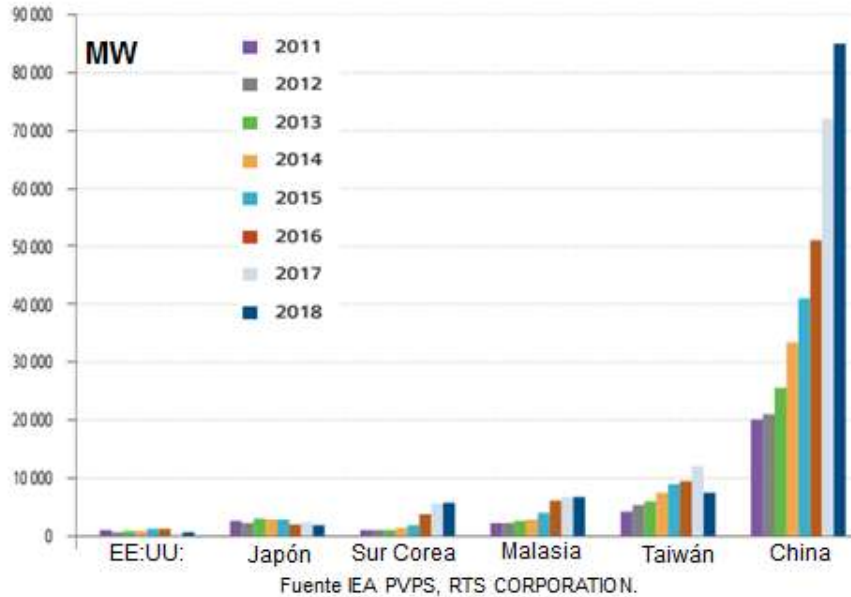


Datos Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2020); IRENA (2020); SPE estimates.

El desarrollo FV mundial depende del amplio liderazgo FV de China en tecnología, mercado y producción FV lo que debe disminuir riesgos que existirían si EE.UU tuviera dichos liderazgos.

EJEMPLO DEL AUMENTO SOSTENIDO DE LIDERAZGO FV DE CHINA

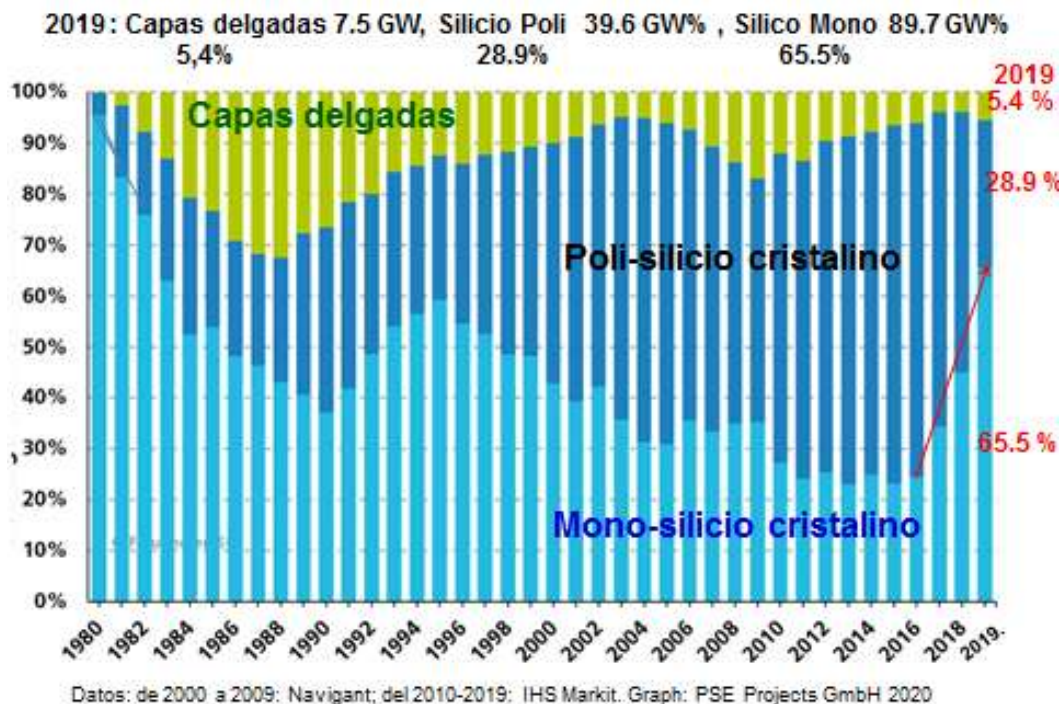
EVOLUCION DE PRODUCCION DE CELDAS FV EN PAISES SELECCIONADOS



EFICIENCIAS DE CELDAS

Como se muestra en el siguiente gráfico, en los últimos 3 años aumenta la proporción porcentual de las celdas de silicio mono cristalino por tecnología PERC, sus costos que son más caros que las policristalinas reducen un poco la brecha. Se espera que la celdas tándem con sustrato de silicio mono cristalino puedan superar el 25 % de eficiencia de los módulos FV posterior al 2025, con costos similares del Wp actual, lo que tributa a mejorar aún más las actuales buenas características de la tecnología ..

Producción mundial anual por tipos de celda FV entre 1980 - 2019



MODULOS FV

En realidad los módulos nunca han dejado de evolucionar, al principio las de celdas de Silicio mono cristalino, las de capas delgadas crecieron rápidamente para después disminuir, las de silicio poli y mono han tenido altas y bajas, con un repunte en los últimos 3 años de las mono cristalinas. El costo ha bajado espectacularmente y las variantes buscan más la eficiencia. Debido al incremento en % del mono cristalinos de mayores eficiencias se hace necesario analizar en cada caso que instalar módulos de silicio poli o mono cristalinos.

EVOLUCION DE LOS MÓDULOS FV

Módulos FV	Costo Wp	Adicion anual FV	FV acumulada
1956	300 USD/Wp	FV en el cosmos	-
1977	80 "	1MW/año/superficie	Pocos MWp FV
1998	5 "	144 "	566 "
2020	0.16* "	114 000 "	620 000 "

* Módulos de silicio poli a puerta de fábrica en China hoy, son las más baratas por Wp

Distintas innovaciones continúan desarrollándose en módulos FV, como:

- Media celda. (existentes y aumentando , aun en minoría)
- Mayores potencias en Wp (próximamente más 600 Wp por modulo)
- Celdas negras. (sin perdidas por reflejos de la radiación solar)
- Celdas con contactos posteriores (ninguna en cara frontal).
- Hetero junturas HIT. (existentes pero más caras)
- Celdas tándem de varias junturas p-n. (que deben predominar en varios años)
- Mayor área de celdas mono. (obleas de mayor diámetro; 182 x 182 mm y mayores)
- Bifaciales.(que va en aumento , en 2019 fue el 5 % de los no bifaciales).
- Nano tecnológicas nuevas (hasta ahora son de laboratorio, no industriales)

En 2019 la producción total de módulos bifaciales fue de unos 5 400 MWp, o sea, menos del 5 % del total de módulos producido durante 2019.

VIGILANCIA TECNOLÓGICA.

Es sumamente importante tener en cuenta el comportamiento ascendente FV mundial, que puede tributar de muchas formas al desarrollo FV en Cuba, pero hay que hacer los análisis de conclusiones con sumo cuidado, ya que la información sobre la introducción de lo que son buenas prácticas en otros países pueden ser también buenas o no tan buenas y hasta muy malas en condiciones de Cuba, por otra parte, pueden haber características o buenas prácticas en Cuba que no serían apropiadas en otros países. Las comparaciones deben tener en cuenta las oportunidades y retos para desarrollar la FV en dependencia de muchos factores y de las características de cada país, como: costos, financiamientos, importaciones de combustibles, nivel de electrificación, parámetros de radiación solar, MIX y costos de eléctrica, subvenciones, precios de tarifas eléctricas, posibilidades de encadenamientos generación productivos, potencialidades de las distintas FRE, configuración y estado de la red eléctrica, comportamiento de la curva de carga, dimensiones y nivel de desarrollo del país, nivel de industrialización, consumo por sectores, interconexiones de transmisión entre otros aspectos.

POSIBLES APORTES FV POR SECTORES.

La versatilidad de aplicaciones FV hace que todos los sectores tributen al desarrollo FV, pero se debe tener claro que los aportes promedios porcentuales para la disminución de la utilización de los combustibles fósiles son distintos. Por ejemplo y solo como ejemplo ya que pudieran variar mucho, en la siguiente tabla se muestra una hipotética variante de distribución FV por sectores, que puede ser distinta, pero la conclusión sería la misma, en un extremo el utility con menos número de instalaciones pero mayor potencia total FV aportada, en el otro extremo está el sector residencial conectado a red con muchas instalaciones pero menos potencia aportada. Los sistemas FV aislados remotos son los de más número de instalaciones

con menos potencia aportada, pero el valor social y económico que tiene es de gran magnitud e importancia.

Sector	Numero de Instalaciones FV	Potencia por sistema conectado a red	Aporte total en MWp FV
Utility	200	10 MWp/planta	2 000
Industrial - comercial	400	2 "	800
Social	600	100 kWp/sistema	60
Residencial	10 000	1 "	10
Otros			130
Total	11 200		3 000

Recalamos que este trabajo que complementa la de "Energía FV para Cuba" y otros artículos anteriores tiene el objetivo de que se analice la posibilidad de aumentar el aporte FV a la soberanía electro energética del país.

Todos los datos utilizados son públicos. Quedo a disposición de conocer consideraciones y preguntas, así como participar en los análisis que se realicen nacionalmente al respecto, como se ha hecho en distintas ocasiones.

Dr.C Daniel Stolik Novygrad. Profesor Titular.
 Experto y asesor FV nacional.
 Presidente de Consultoría y Vigilancia Tecnológica FV IMRE UH.
 Tel 72095812. Cel. 53572300
 stolik@imre.uh.cu.

la capacidad instalada en Cuba todavía es pequeña, el desarrollo conectado a red comenzó en 2013, el per cápita de kWh FV es aún muy bajo, el potencial energético mayor es el solar. Países de América Latina con potenciales mayores hidráulicos, eólicos y geotérmicos también le dedican recurso importantes a la FV.