

ESTUDIO DE LA ENERGIA SOLAR Y LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA
ESTRUCTURA DEL CONSUMO ELECTRICO. PERIODO 1980 - 90

Jorge A. J. BERTELLO*
Oscar G. BARBOSA*
Román H. BUITRAGO†

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC
Guemes 3450 - (3000) Santa Fe - Argent.

RESUMEN

A través de este trabajo se intenta demostrar la necesidad de investigación y desarrollo (I & D) en Energía Solar Fotovoltaica (ESF). Conforme a la demanda de energía eléctrica residencial para el período 1980/90, se propone un programa sustitutivo de fuentes convencionales por Energía Solar Fotovoltaica.

El análisis comparativo estableció que los costos de inversión en equipos solares son compensados rápidamente por los costos de energía eléctrica convencional. Los montos sugeridos para I & D representan porcentajes muy reducidos de los costos de generación de electricidad, pero sensiblemente mayores a los actuales. Se analiza brevemente la extensión del mercado.

1. INTRODUCCION

En el "Plan Nacional de Equipamiento para los Sistemas de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica Período 1973-2000". Elaborado por la Secretaría de Estado de Energía (SEE) (1) se señala que "... en el largo plazo sólo la energía nuclear y la energía solar aparecen en la actualidad como potencialmente capaces de satisfacer los requerimientos energéticos...".

En un trabajo publicado recientemente por el Dr. M.B.A. Crespi(2), sostiene que "... en el largo plazo la energía solar será una de las dos fuentes más importantes (junto con la energía nuclear) si no la principal de producción de energía ...".

En la base de que las fuentes con-

* Profesional del Centro Regional de Investigación y Desarrollo (CERIDE)

† Investigador del CONICET

vencionales de energía no renovables mundiales son limitadas, estas ideas son realistas y factibles en la medida que los países desarrollen las ciencias y tecnologías necesarias para lograrlo. Con este objetivo a través de este trabajo intentamos demostrar la necesidad e importancia que para el futuro tiene realizar inversiones en investigación y desarrollo de tecnologías en Energía Solar Fotovoltaica actualmente en nuestro país.

Este estudio se realiza para el período 1980-90, porque los datos disponibles nos permiten hacerlo y es un tiempo prudencial de planificación en el cual toda inversión de investigación y desarrollo será de fundamental importancia para el uso futuro de este recurso renovable.

En base al Plan Nacional mencionado, sobre la demanda de energía eléctrica residencial, se propone un programa sustitutivo de fuentes convencionales por Energía Solar Fotovoltaica, usando coeficientes de penetración muy por debajo de niveles propuestos en otros países desarrollados. Se estableció que la inversión inicial requerida en equipos solares fotovoltaicos se amortizaría en pocos años, con lo ahorrado al dejar de consumir energía producida convencionalmente.

2. ASPECTOS METODOLOGICOS Y CALCULOS

a) Análisis de costos de energía eléctrica convencional

Con datos obtenidos de diversas fuentes se elaboró un conjunto de tablas y gráficos que se describen a continuación.

En la Tabla I presentamos, para la década 1980/90, nuestra propuesta de porcentajes de penetración de Energía Solar Fotovoltaica, que sustituirá a la energía eléctrica de origen térmico en

el consumo residencial. La energía eléctrica a consumir por el sector residencial(3) fue tomada del Plan Nacional de la Secretaría de Estado de Energía, realizando la hipótesis que durante el quinquenio 85/90 el 50% de la misma tendría origen térmico. Esta hipótesis implica que la estructura de la oferta de energía eléctrica(4) no variará en dicho período.

La segunda columna muestra cual sería el consumo de energía eléctrica, en el sector residencial para todo el país, de origen térmico en cada uno de los años considerados. La tercera columna indica los porcentajes de penetración de la ESF, se supone un 0,5% de sustitución para 1985, incrementándose en 0,1% anual hasta representar el 1% para 1990. Es conveniente aclarar que los porcentajes propuestos son tentativos, elegidos para determinar a qué resultados se arribaría si se decide desarrollar un programa sustitutivo como el aquí expuesto.

La cuarta columna nos da las cantidades de energía eléctrica a producir por paneles fotovoltaicos en Gigavatios horas/año (GW-h año).

Tabla I. Propuesta de sustitución del consumo de energía eléctrica de origen térmico para el sector residencial por energía solar fotovoltaica

Año	Producción de Energía térmica	Porcentaje de penetración de ESF	Penetración de la ESF
	en GWh	% P.E.S.F.	en GWh
1980	4.270.-	0	0
1981	4.580.-	0	0
1982	4.913.-	0	0
1983	5.274.-	0	0
1984	5.659.-	0	0
1985	6.077.-	0,5	30
1986	6.536.-	0,6	39
1987	7.027.-	0,7	49
1988	7.550.-	0,8	60
1989	8.115.-	0,9	73
1990	8.716.-	1,0	87

En la Tabla II presentamos los costos estimados de la energía eléctrica producida por centrales térmicas. En la segunda columna se reiteran las cantidades de GW-h a sustituir por ESF. En las columnas siguientes se detallan los costos de dichas cantidades, según hipótesis (de mínima, media y máxima), calculados a partir de datos de costos

publicados por la Fundación Mediterránea para junio/1980(5).

La hipótesis de mínima se estableció en función de los datos presentados por Peter Margen(6) para Suecia, dicho autor sostiene una proyección desde 1975-90 del 3% de aumento de los combustibles, sobre el porcentaje anual de inflación internacional, estimada por OPEC(7) en un 10%. En consecuencia el incremento anual de los combustibles sería del 13%.

Dado que los combustibles, conforme a las estimaciones de la SEE(8), inciden en un 81% en los costos de generación de centrales térmicas, se consideró un incremento anual acumulativo del 10% como una hipótesis de mínima.

Para la hipótesis de media se adoptó el criterio de la OPEC(9), el cual toma como referencia tres parámetros estadísticos, a saber: 1) La tasa inflacionaria de 24 países industriales, 2) el valor del dólar tomado sobre referencia de nueve divisas fuertes internacionales, 3) el crecimiento económico de los 24 países industrializados. La media anual para el período 1973/77 resultó 16%. Adoptamos este valor.

Finalmente como hipótesis de máxima, se tomó los porcentajes calculados por la Fundación Mediterránea(10), ya mencionada, para el período comprendido entre 12/1978 y 6/80, que es del 25% anual en dólares. Porcentajes que son coincidentes con los incrementos sufridos durante el mismo período por los costos del barril de petróleo en U.S.A. (11), a pesar que internacionalmente el precio en dólar por barril para la década 70/80 subió 17 veces(12) (60% anual promedio).

En las tres columnas siguientes de la Tabla II, se calculan los costos totales de energía eléctrica a ser producida por centrales térmicas según cada una de las hipótesis adoptadas.

b) Análisis de Costos de Sistemas Fotovoltaicos

El estudio de costos de sistemas fotovoltaicos presenta características totalmente distintas al análisis sobre energía eléctrica convencional realizado previamente. 1) Por tratarse de una tecnología en desarrollo, sus costos decrecen a través del tiempo medidos en moneda constante. 2) Se dispone de muy poca información estadística sobre comportamiento de costos de los equipos

Tabla II. Costos de la energía eléctrica a ser producido por centrales térmicas para el sector residencial

Año	Penetración de ESF (GWh/año)	Costos Medios (en U\$S Mills/kwh) según Hipótesis de :			Costos Totales (Millones U\$S/año) según Hipótesis de :			
		mínima 10%	media 16%	máxima 25%	mínima 10%	media 16%	máxima 25%	máxima 25%
1980	---	132,76	132,76	132,76	---	---	---	---
1981	---	146,04	154,00	165,95	---	---	---	---
1982	---	160,64	178,64	207,44	---	---	---	---
1983	---	176,71	207,22	259,30	---	---	---	---
1984	---	194,38	240,38	324,12	---	---	---	---
1985	30	213,82	278,84	405,15	6,41	8,36	12,15	12,15
1986	39	235,20	323,45	506,44	9,17	12,61	19,75	19,75
1987	49	258,72	375,21	633,05	12,68	18,38	31,02	31,02
1988	60	284,60	435,24	791,31	17,08	26,11	47,48	47,48
1989	73	313,05	504,88	989,14	22,85	36,86	72,21	72,21
1990	87	344,36	585,66	1.236,42	29,96	50,95	107,57	107,57

solares fotovoltaicos y los existentes corresponden a países desarrollados.

A pesar de ello, se observa en general una concordancia en las predicciones de costos a corto plazo (1985-90). Considerando las distintas variedades tecnológicas de los paneles fotovoltaicos se predice para 1985 un rango de costos de 1,6 a 2,3 U\$S/W (13-16) como costo unitario para los equipos generadores de electricidad.

En la Tabla III presentamos los costos de los equipos fotovoltaicos necesarios, para producir la cantidad de energía eléctrica propuesta en el sector residencial en reemplazo de la térmica. En la segunda columna se indican esas cantidades y en la tercera la diferencia que se agrega por año.

En las dos últimas columnas se muestran los costos de inversión para los extremos del rango de costos unitarios. El cual se ha mantenido constante para el quinquenio, aún considerando que de igual modo que para 1985 existen estimaciones para 1990, que dan un rango mucho menor (1,10 a 1,20 U\$S/W) (17,18). La razón es la mayor confiabilidad de los costos para 1985 que significan una reducción a un cuarto de los actuales.

Cabe notar que los costos presentados son válidos para Estados Unidos, la estimación de los mismos puestos en Argentina, resulta una tarea muy difícil de realizar debido a que depende fundamentalmente de políticas impositivas, económicas y energéticas aún

Tabla III. Costos de los equipos solares fotovoltaicos para producir energía eléctrica en el sector residencial

Año	Consumo de E.E. (en GWh)	Consumo agregado (en GWh)	Costo Equipo Solar Fotovoltaico (en mill. de U\$S)	
			costo 1,60U\$S/W	costo 2,30U\$S/W
1985	30	30	13,30	19,16
1986	39	9	3,99	5,75
1987	49	10	4,44	6,38
1988	60	11	4,88	7,02
1989	73	13	5,77	8,30
1990	87	14	6,22	8,94

no implementadas en el país. De todas maneras si tomamos como referencia a productos electrónicos en la actualidad el costo en Argentina sería aproximadamente el triple del existente para el mismo producto en Estados Unidos (19).

c) Dimensionamiento del Mercado Fotovoltaico

Otro aspecto importante en el análisis comparativo del proceso de sustitución de energía térmica por fotovoltaica es el de predecir cuál sería el tamaño del mercado fotovoltaico o número promedio de viviendas afectadas.

Para efectuar este cálculo se tomó los datos de insolación de la Red Solarimétrica (20) publicada por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) para las ciudades de Paraná y

Rafaela, correspondiente a los años 1979-80, resultando su promedio diario 4,75 KWh/m². Considerando una eficiencia global para el sistema fotovoltaico de un 10% (21) y adoptando para una familia tipo un consumo mensual de 150 KWh (*), y un sobredimensionamiento del sistema de un 20% para contemplar días nublados, envejecimiento de baterías y celdas, pérdidas, etc., se obtuvo que la superficie total necesaria de celdas fotovoltaicas era de 13 m² por vivienda.

En la Tabla IV en la cuarta columna, se muestra el número total de viviendas que utilizaría Energía Solar Fotovoltaica (ESF) y en la sexta columna el número de metros cuadrados de paneles fotovoltaicos a instalar por año y finalmente en la séptima columna el número total acumulativo año tras año.

Tabla IV. Número de viviendas y superficies de paneles solares a instalar.

Año	Consumo de E.E.	Consumo agregado	Número de Viviendas		Superficie de Paneles Solares (en m ²)	
	(en GWh)	(en GWh)	Total con ESF	se agregan anualmente	se agregan anualmente	Total instalados
1985	30	30	16.660	16.660	216.580	216.580
1986	39	9	21.666	5.006	65.000	281.658
1987	49	10	27.222	5.556	72.231	353.889
1988	60	11	33.333	6.111	79.444	433.333
1989	73	13	40.555	7.222	93.889	527.222
1990	87	14	48.333	7.778	101.111	628.333

3. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Es importante destacar que hemos adoptado supuestos que pueden ser muy ideales en el sentido de no contemplar las distintas posibilidades o alternativas que pueden darse, sólo se pretendió llegar a tener un punto de referencia o un orden de magnitud necesario para cualquier planificación que quiera realizarse.

El programa de sustitución de las fuentes convencionales propuesto alcanza al 1% del total de energía eléctrica a consumir en 1990, en el sector residencial a ser producido por centrales térmicas. Creemos que éste es un supuesto realista, dado que por

(*) Hemos considerado como consumo promedio mensual a 150 KWh porque Agua y Energía Eléctrica toma este consumo como el máximo para aplicar la tarifa residencial reducida.

ejemplo en los Estados Unidos el DOE (22) se fijó el objetivo de llegar a producir en el año 2000 el 25% del total del consumo de energía mediante fuentes no convencionales y que del total de energía eléctrica producida, el 5% le corresponderá a los sistemas fotovoltaicos.

Si realizamos un estudio comparativo de costos, entre la energía eléctrica a producir en 1985/90 por fuentes térmicas y fotovoltaicas, los pronósticos no son únicos y dejan un gran margen de incertidumbre. En la Tabla V, se resumen los costos para las diferentes hipótesis. La columna cuarta a sexta, reproduce los costos para energía de fuente convencional, ya presentada en Tabla II, según las tres hipótesis.

De igual forma, en las columnas séptima y octava, se reproducen los costos de ESF, tomados de la Tabla III.

Por último, a los efectos de realizar una evaluación real de los montos de comercialización de los sistemas fotovoltaicos en la Argentina, se proponen dos costos de venta, considerando los incrementos que sufrirían los precios máximos de U.S.A. de los paneles por flete, seguro, impuestos, comisiones, etc.

El primero de ellos, de un 100% (novena columna), contemplaría una política gubernamental de apoyo mediante la exención impositiva. El segundo, de un 200% (décima columna), refleja la situación actual en materia de productos importados (23).

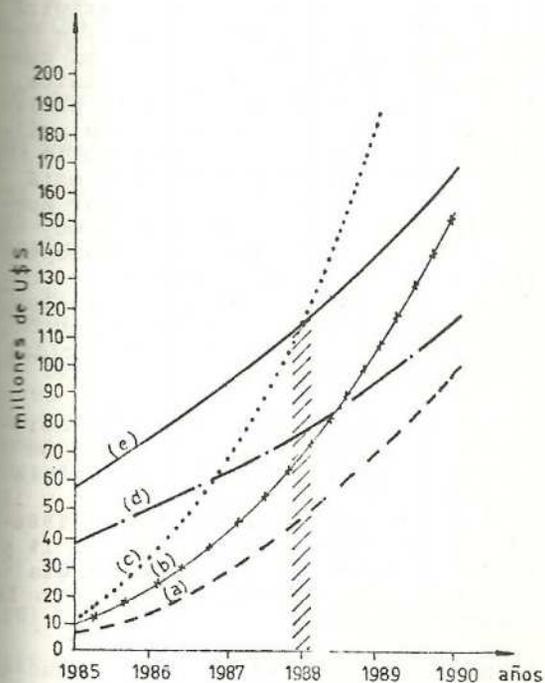
Los datos de esta tabla se trasladaron a la Figura 1, en la que se puede observar con claridad la evolución futura de costos de la energía eléctrica. Vemos que los costos de la energía de fuente térmica son aún menores hasta 1987, en las tres hipótesis, pero a

Tabla V. Comparación de Costos de la Energía Producida Convencionalmente con Costos de la Energía Solar Fotovoltaica

Año	Consumo de E.E. (en GWh)	Consumo agregado (en GWh)	Costo Energía Producida convencionalmente (en mill. de U\$S)			Costo Energía Solar Fotovoltaica (en mill. de U\$S)			
			Mínima	Media	Máxima	en U.S.A.		en Argentina	
						Mínima	Máxima	100%	200%
1985	30	30	6,41	8,36	12,15	13,30	19,16	38,32	57,48
1986	39	9	9,17	12,61	19,75	3,99	5,75	11,5	17,25
1987	49	10	12,68	18,38	31,02	4,44	6,38	12,76	19,14
1988	60	11	17,08	26,11	47,48	4,88	7,02	14,04	21,06
1989	73	13	22,85	36,86	72,21	5,77	8,30	16,6	24,9
1990	87	14	29,96	50,95	107,57	6,22	8,94	17,88	26,82

partir de allí y antes de 1991 los costos de la ESF, en sus dos pronósticos van resultando menores que los convencionales.

Figura 1. Evolución Futura de Costos de la Energía Eléctrica



Energía Convencional: (a) Hip. mínima
 (b) Hip. media
 (c) Hip. máxima
 Energía Solar Fotovoltaica: (d) Hip. mínima
 (e) Hip. máxima

En nuestra opinión las curvas más realistas son la hipótesis de máxima en ambas fuentes de energía. El punto de cruce de los costos se produce a comienzos de 1988. Cabe denotar, que los costos de la ESF se estimaron en base a un rango fijo, tomándose el máximo valor del mismo (2,3 U\$S/W). La tendencia que realmente se observa en los productos electrónicos, es una disminución de costos, aún existiendo inflación, y que en el caso particular de celdas fotovoltaicas llegaría a disminuir sensiblemente si se pasara a producción masiva automatizada. Esto implicaría tal vez, que el punto de cruce se produzca mucho antes.

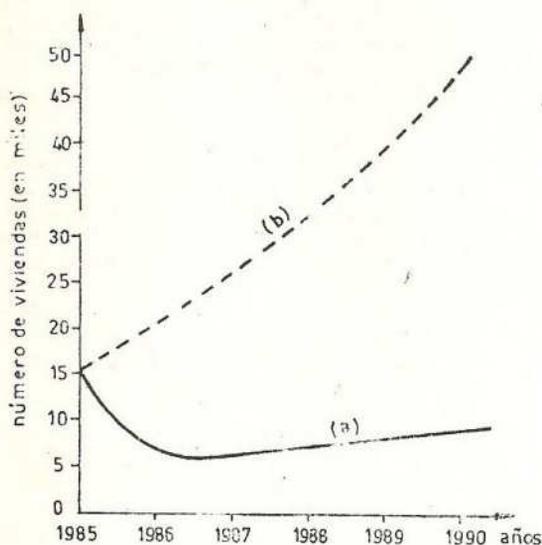
Tomando este punto como referencia en nuestro análisis vemos que la inversión a realizar en equipos fotovoltaicos, entre 1985-88, se amortizaría con lo ahorrado en el costo de igual cantidad de energía eléctrica producida por fuente convencional. A partir de allí y durante el resto de la vida media del equipo (estimado entre 20/25 años), los gastos de mantenimiento y funcionamiento son despreciables (24).

Si sobre esta base, el gobierno decidiera realizar una inversión en I & D de tecnologías en Energía Solar comparables a la que está efectuando en otros campos de investigación, en busca de nuevas fuentes de energía, tales como Energía Geotérmica (25), los montos a invertir vendrían a representar sólo un 4% del costo total de energía eléctrica si fuera producida convencionalmente en el país. Si bien este porcentaje es comparativamente inferior a lo que tienen previsto invertir en otros países (26), representaría un fuerte incremento a la actual inversión en materia de I & D por parte de SECyT en su programa Nacional de Energía No Con

vencional (27).

En la Tabla IV y en el gráfico 2, vemos que la cantidad total de viviendas con sistemas fotovoltaicos instalados resulta para el quinquenio 85/90 de 48.333 unidades. Cifra esta que si suponemos que son viviendas a construir, representaría aproximadamente el 0,25% del déficit habitacional argentino (*). La superficie de paneles necesaria para la misma es también un porcentaje muy pequeño respecto a la superficie disponible por vivienda en barrio residencial (4%) (#).

Figura 2. Número Total de Viviendas para Instalar Paneles Fotovoltaicos



(a) Número total de Viviendas (que se agregan)

(b) Número total de Viviendas (acumulativo)

Considerando este conjunto habitacional como un todo, la potencia media instalada resulta aproximadamente 30 MW. Potencia que si es comparada con otras fuentes como por ejemplo la Central Nuclear de Atucha, representa sólo un 10% de su potencia instalada.

(*) Estimado en 2 millones de viviendas.
(#) Si suponemos un terreno para el sector residencial promedio de 10 x 25 m y la correspondiente superficie de la calle que sería de 10 x 7 m.

En cuanto a la dimensión del mercado para 1985, podemos mencionar que los porcentajes de penetración propuestos son en cifras globales un volumen equivalente por ejemplo a: un 3% del mercado total de electrónica en la Argentina estimado para 1985 (28); o un 5% del mercado anual actual de televisores en colores (29).

La primera conclusión que surge de nuestro trabajo es, si se verifican las pautas de sustitución de fuentes de energía convencional por fuentes de Energía Solar Fotovoltaica propuestas y siendo válidos los supuestos tecnológicos y económicos ya explicados, daría lugar a un ahorro de recursos renovables equivalente (para la década 1980/90) a 288 mill U\$S. El combustible usado en las usinas térmicas es un recurso no renovable que podría dedicarse a usos donde no tenga sustitutos económicos (por ejemplo: como materia prima para petroquímica; combustible para automotores, gas para redomiciliarias en grandes ciudades).

Lograr este ahorro de recursos no renovables en la presente década exigirá un importante esfuerzo en materia de investigación y desarrollo en el campo de la Energía Solar Fotovoltaica, tanto en el orden privado como público. La importancia de tener una política de investigación y desarrollo claramente elaborada no solamente está ligada a la capacidad para crear nuevas tecnologías sino también y muy especialmente a la necesidad de adoptar tecnologías a nuestras peculiares condiciones locales (tipo de materiales, condiciones geográficas de radiación, etc.); así como también a la capacidad para comprar tecnologías.

La segunda conclusión es que la asignación de recursos en investigación y desarrollo en el campo de la Energía Solar tendría que variar entre 4 y 12 millones de dólares en el período 1980-84, si queremos asignar entre el 1% y el 4% del costo total de la energía eléctrica que se sustituirá durante la presente década.

Se puede señalar colateralmente que el Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 4.408/79 por el cual se asigna 37,5 millones de dólares para investigación y conservación de Energía Geotérmica prevé destinar 12,5 millones de dólares para investigación sin especificarse en el mismo el lugar que podría ocupar la Energía Solar.

Una buena parte de las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos de mayor interés, se centra en la gestión directa del sector público, en ese sentido la actitud que cabe esperar del Gobierno en cuanto al fomento y promoción de las fuentes alternativas, deberían facilitar y acelerar la difusión y desarrollo de la Energía Solar Fotovoltaica.

Esto indicaría que la Energía Solar producida por sistemas fotovoltaicos llegará a ser uno de los contribuyentes principales al equilibrio energético si a partir de ahora y sin retenciones se realiza el gran esfuerzo requerido en investigación y desarrollo.

REFERENCIAS

1. Secretaría de Estado de Energía de la República Argentina. "Plan Nacional de Equipamiento para los Sistemas de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica". Período 1979-2000. Buenos Aires, setiembre 1979.

2. M.B.A. Crespi, Revista de la Universidad del Salvador, Año 1, N° 2 (1979).

3. Ver Ref. 1, pág. 162.

4. Ver Ref. 1, pág. 359.

5. Ministerio de Economía de la República Argentina. Anexo del Boletín Mensual, N° 375, febrero (1981).

6. P. Margen, Sunworld 4, (4) 128 (1980).

7. OPEC, "Report of the group of experts submitted to and approved by the fourth meeting of the Ministerial Committee on long-term strategy", London, febrero 1980,

8. Ver Ref. 1, pág. 278.

9. Ver Ref. 7, pág. 13.

10. Ver Ref. 5, pág. 309.

11. Brown H., Energy 4, 725 (1979).

12. Bravo V., "Introducción a la Eco

mía del Petróleo", Apuntes del XI Curso latinoamericano de economía y planificación energética", San Carlos de Bariloche, pág. 71 (1980).

(13) Durand H.L., Sunworld 4, (1) 30 (1980)

(14) Luque A., Cuevas A., Eguven J., del Álamo J., Mundo Electrónico, N°106 pág. 61, mayo 1981.

(15) Javetsky J., Electronics, Julio 1979, pág. 106.

(16) Cherdak A. "System description and engineering costs for solar related technologies", Volume VIII, Photovoltaic Central Power System. MITRE, June 1977, pág. 26.

(17) Ver Ref. 14, pág. 61.

(18) Ver Ref. 15, pág. 107.

(19) Guía práctica de la Aduana de la R.A., N° 293, Año XXV, mayo 1981.

(20) Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE). "Red Solarimétrica", Anuario 1979-80, Buenos Aires.

(21) Loferski J.J., IEEE Spectrum 17, (2), 27 (1980) y 17, (2), 37 (1980). Howell Y. Adler D. Sunworld 4, (1), 8 (1980).

(22) National Photovoltaic Program, U.S.A. Dept. of Energy, september 1980.

(23) Ver Ref. 19 y elaboración propia.

(24) Ver Ref. 16, pág. 58.

(25) Boletín oficial de la República Argentina Decreto del P.E.N. N°3408/79. Buenos Aires, enero 1980.

(26) Hill R.F., Industrial Research/Development, January 1979, Gosch J., Electronics, June 1979. Ver Ref. 15.

(27) Boletín de ASADES, volumen 4, N° 1, Mayo 1980.

(28) SECYT-INTI, "Estudio para el desarrollo de la industria electrónica Argentina" Cap V, Bs. As. (1978)

(29) Ver Ref. 28 y elaboración propia.