



TESIS DE GRADO  
EN INGENIERIA INDUSTRIAL

*“Aplicaciones y usos de la Energía Solar;  
Actual y futura”*

Santiago De Stefano

Legajo: 45385

Director de Tesis:  
Ingeniero Félix T. Jonas

*2011*

## **Resumen**

Esta tesis evalúa las posibilidades que tiene la Energía Solar de ser un reemplazo a la actual forma de generación eléctrica. Cuando digo un reemplazo me refiero a que pueda sustituirlo tanto técnicamente, es decir que logre los mismos resultados, como económicamente, es decir que sea igual o más rentable que las formas actuales.

Durante el proyecto, la idea es introducir la tecnología solar, ver el estado de desarrollo en el cual se encuentra, y proyectar hacia el futuro las variables más importantes. No solo las variables que afecten a un sistema de generación solar, sino a todas aquellas variables que tengan un rol en la generación de energía eléctrica, como puede ser el precio del petróleo o los costos de otras fuentes de generación.

Dado que las energías renovables se encuentran en una etapa del desarrollo relativamente temprana, por ahora no son económicamente rentables si no existe un marco legal que las sustente. Por eso se busco la legislación que existe en la Argentina en materia de energías renovables. Se analizo el efecto que tuvieron estas normas y porque no fueron efectivas.

Por último analizamos diferentes casos en el mundo donde se establecieron una base de incentivos que funcionan muy bien. Gracias a ellos la evolución de estas tecnologías avanza cada vez con mayor rapidez. Además van paulatinamente cambiando su matriz energética hacia una situación más saludable, tanto para poder garantizar el suministro de energía a la población, como también mas amigables con el medio ambiente.

Finalmente, habiendo concluido que las energías renovables serán una alternativa real en un futuro y que además habiendo encontrado legislaciones que resultaron exitosas en otros países, recomiendo a la argentina un plan de acción para poder fomentar las energías renovables.

Con esto creo que el país podrá estar brindando a la población soluciones tangibles dentro del sector energético. Además estará ubicando al país en una inmejorable posición para poder desarrollar una industria en el país que en el futuro podrá vender sus productos y experiencia al mundo.

## ***Summary***

This thesis intends to evaluate the opportunities that solar energy has to replace other ways of generating electrical power currently used nowadays. This replacement is analyzed from both the technical perspective (achieving similar results) and from the economical perspective (at same or lower costs).

Starting with an introduction to today's uses of solar energy, this thesis goes further analyzing future possibilities of generating solar energy considering all variables related such as oil price and prices of other forms of energy.

Today alternative forms of renewable energy are at very early stages of development so it is important to analyze the legal frame concerning them, as these new forms of energy might or might not be economically feasible depending on what is ruled by laws. Research was done considering the Argentine legislation referring this subject and what effect it had.

Some cases, which worked very well in other parts of the world, were developed based on tax and price incentives. As a consequence of these incentives, they developed very quickly and increased the percentage of more clean and reliable forms of energy.

Finally and having concluded in this thesis that renewable forms of energy will definitively be a valid alternative for our power and energy supply in the very near future, we recommend that our Government follows legislation which proved effective in other countries.

In favoring the generation of renewable energy, our country would not only be giving a better environment to its inhabitants, but could also develop a new industry with enormous potential.



## INDICE

<b>1.0 Situación Energética Mundial</b>	1
1.1 Introducción	2
1.2 Evolución de las celdas fotoeléctricas	3
1.3 Principio de funcionamiento de la energía solar	4
1.4 Últimos descubrimientos	7
1.5 Matriz energética de la República Argentina	10
<b>2.0 Análisis y estudio de nichos para la Energía Solar</b>	14
2.1 Introducción	15
2.2 Lugares de aplicación	16
2.3 Análisis económico	22
2.3.1 Instalación fotovoltaica	24
2.3.2 Grupo electrógeno (diesel)	26
2.3.3 Proyección del precio del petróleo	29
2.3.4 Análisis de los resultados	30
<b>3.0 Energía Solar y el futuro</b>	32
3.1 Introducción	33
3.2 Costos de la generación de energía solar	33
3.3 Subsidios actuales al sector energético en la República Argentina	37
3.4 Costos por la generación de CO <sub>2</sub>	38
3.5 Precio del petróleo	40
3.6 Conclusiones	41
<b>4.0 Incentivos y marco legal para el desarrollo de Energías Renovables</b>	42
4.1 Introducción	43
4.2 Incentivos para la generación de energías renovables	44
4.3 Sistemas complementarios de incentivos	51
4.4 Conclusiones acerca de los sistemas de incentivos	52
<b>5.0 Conclusiones y Recomendaciones para la República Argentina</b>	55
5.1 Introducción	56
5.2 Marco legal actual para las energías renovables en Argentina	57
5.3 Efecto real de la reglamentación actual en el sector	57
5.4 Beneficios adicionales de una política de energías renovables	58

5.5 Recomendaciones	.....	60
<b>6.0 Bibliografía</b>	.....	62

# Capítulo I

## “Situación Energética Mundial”

## **CAPITULO I: “Situación Energética Mundial”**

### *1.1- Introducción*

El crecimiento mundial que estamos viviendo hace ya mucho tiempo, la mejora en la calidad de vida, y la democratización del uso de las tecnologías son un hecho que esta fuera de discusión. A simple vista esto no parece más que una noticia positiva y alentadora. Sin embargo estos cambios tienen en contra partida el uso de reserva naturales no renovables y además la generación de contaminación causando un daño irreparable en el medio ambiente. Los efectos de estos daños son hoy conocidos por el mundo en general y sus efectos ya causan tremendos daños, tanto económicos como sociales, en distintas partes del planeta. La enorme población mundial y su tasa de crecimiento hacen pensar que dichos eventos se van a seguir sucediendo en el futuro y cada vez con mayor frecuencia.

Los diferentes avances en materia energética han generado la posibilidad de mejorar la calidad de vida de las personas en las más diversas maneras. La electricidad, el automóvil, la gran oferta en vuelos comerciales o de carga y los miles y miles de productos que se transportan de un lado al otro del planeta son eventos tan comunes que no sorprenden a nadie. Pero para que esto sea posible, el mundo debe quemar miles y miles de barriles de petróleo por día emitiendo a la atmósfera una cantidad impresionante de gases que contaminan el medio ambiente.

Todos estos hechos previamente mencionados son posibles gracias a diferentes causas todas vinculadas entre sí. La evolución en los métodos de extracción de petróleo y la eficiencia lograda para generar energía a partir de estos, ha logrado que el uso de energía proveniente del petróleo sea un bien barato y accesible para la gran mayoría. Lo que genera un círculo vicioso, en el cual cada vez se le da más uso a los derivados del petróleo (ya que más gente puede acceder a ellos), luego se destina más dinero a la investigación, lo que mejora aun más las tecnologías, generando así la posibilidad de que esto sea más barato hecho que finalmente inserta a más gente en el uso de dicha tecnología.

Pero detrás de la quema del petróleo existen un sinnúmero de problemas generados por la contaminación que esto produce. El mayor problema, sin embargo, es que existe un demora muy grande entre el hecho que genera la contaminación y sus efectos.

Pero en los últimos tiempos ha habido algunos cambios que hacen suponer que el uso del petróleo ira cayendo por diferentes razones. El precio del

petróleo ha subido los últimos años. Esto se debe a dos cuestiones fundamentales. En primer lugar la demanda de petróleo ha crecido debido al crecimiento de la población mundial y a la incorporación de grandes poblaciones al mundo moderno. En segundo lugar la oferta de petróleo es cada vez menor debido a que es una energía no renovable.

Tomando el caso de China e India, donde el consumo de petróleo es de 1.7 y 0.7 barriles diarios per cápita respectivamente. Comparativamente, Méjico consume 7 barriles per cápita. Por lo tanto, partiendo de una base tan baja, el consumo en Asia se duplicara, en mi opinión, en los próximos años, pasando de una base de 20 millones de barriles anuales a casi 40 millones de barriles diarios. Si el consumo de China llegase a niveles similares a los Mejicanos o los países de América Latina, estaríamos hablando de 24 millones de barriles diarios, cerca del 30% de la producción diaria mundial. Sumado a que en los últimos años no se han descubierto grandes pozos petroleros, y es posible que la producción mundial no aumente en los próximos años. Este escenario hace prever un aumento en los precios del petróleo en el futuro.

Estas dos cuestiones previamente mencionadas, la suba del precio del petróleo y la gran contaminación derivada de su uso, hacen pensar que el mundo debe cambiar su matriz energética. Por un lado necesita una forma de energía que pueda crecer en demanda al compás de la oferta, para que esta sea accesible a la gran mayoría por un tiempo prolongado. Por otro lado la matriz energética debe de migrar hacia una matriz menos nociva para el medio ambiente.

Existen hoy en día diferentes métodos de obtención de energía que podrían, caso de ser económica y técnicamente posible, útiles para resolver ambos problemas mencionados previamente. Estas son las conocidas como energías "verdes".

### *1.2- Evolución de las celdas fotoeléctricas*

Aunque las celdas solares eficientes han estado disponibles recién desde mediados de los años 50, la investigación científica del efecto fotovoltaico comenzó en 1839, cuando el científico francés, Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas.

El efecto fue observado primero en un material sólido (el metal selenio) en 1877. Este material fue utilizado durante muchos años para los fotómetros, que requerían de cantidades muy pequeñas de energía. Una comprensión más profunda de los principios científicos, fue provista por Albert Einstein en 1905 y Schottky en 1930, la cual fue necesaria antes de que celdas solares eficientes pudieran ser confeccionadas. Una célula solar de silicio que convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad fue desarrollada por Chapin,

Pearson y Fuller en 1954, y esta es la clase de célula que fue utilizada en usos especializados tales como satélites orbitales a partir de 1958.

Las celdas solares de silicio disponibles comercialmente en la actualidad tienen una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que cae sobre ellas de cerca del 18%, a una fracción del precio de hace treinta años. En la actualidad existen una gran variedad de métodos para la producción práctica de celdas solares de silicio (amorfas, mono cristalinas o poli cristalinas), del mismo modo que para las celdas solares hechas de otros materiales (seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, etc.).

### *1.3- Principio de Funcionamiento de la Energía Solar*

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del foto voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil.

Las celdas solares de silicio se elaboran utilizando planchas mono cristalinas, planchas poli cristalinas o láminas delgadas.

Las planchas mono cristalinas (de aproximadamente 1/3 a 1/2 de milímetro espesor) se cortan de un gran lingote mono cristalino que se ha desarrollado a aproximadamente 1400°C, este es un proceso muy costoso. El silicio debe ser de una pureza muy elevada y tener una estructura cristalina casi perfecta.

Las planchas poli cristalinas son realizadas por un proceso de moldeo en el cual el silicio fundido es vertido en un molde y se lo deja asentar. Entonces se rebana en planchas. Como las planchas poli cristalinas son hechas por moldeo son apreciablemente más baratas de producir, pero no tan eficiente como las celdas mono cristalinas. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina resultando del proceso de moldeo.

En los dos procesos anteriormente mencionados, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado.

El silicio amorfo, una de las tecnologías de lámina delgada, es creado depositando silicio sobre un substrato de vidrio de un gas reactivo tal como silano (SiH<sub>4</sub>). El silicio amorfo es una de los grupos de tecnologías de lámina delgada. Este tipo de célula solar se puede aplicar como película a substratos del bajo costo tales como cristal o plástico. Otras tecnologías de lámina delgada incluyen lámina delgada de silicio multicristalino, las celdas de seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, las celdas de telurio de

cadmio/sulfuro del cadmio y las celdas del arseniuro de galio. Las celdas de lámina delgada tienen muchas ventajas incluyendo una deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en sustratos o materiales de construcción baratos, la facilidad de la producción en masa, y la gran conveniencia para aplicaciones grandes.

En la producción de celdas solares al silicio se le introducen átomos de impurezas (dopado) para crear una región tipo p y una región tipo n de modo de producir una unión p-n. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura, donde las planchas se colocan en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Hay otros métodos de dopar el silicio. En la fabricación de algunos dispositivos de lámina delgada la introducción de dopantes puede ocurrir durante la deposición de las láminas o de las capas.

Un átomo del silicio tiene 4 electrones de valencia (aquellos más débilmente unidos), que enlazan a los átomos adyacentes. Substituyendo un átomo del silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones de la valencia producirá un espacio sin un electrón (un agujero) o un electrón extra que pueda moverse más libremente que los otros, ésta es la base del doping. En el doping tipo p, la creación de agujeros, es alcanzada mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia, generalmente se utiliza boro. En el dopaje de tipo n, la creación de electrones adicionales es alcanzada incorporando un átomo con 5 electrones de valencia, generalmente fósforo. A continuación veremos la Figura 1.01.

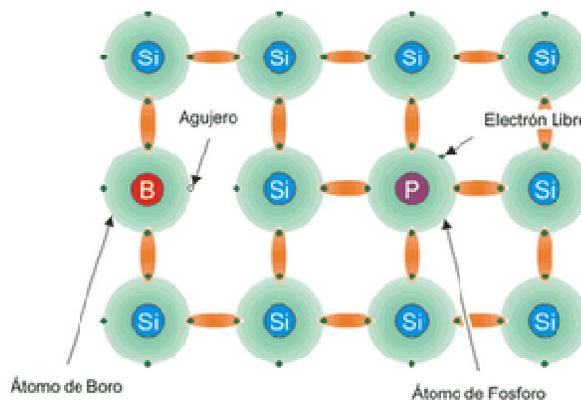


Figura 1.01 – Uniones p-n.

Una vez que se crea una unión p-n, se hacen los contactos eléctricos al frente y en la parte posterior de la célula evaporando o pintando con metal la plancha. La parte posterior de la plancha se puede cubrir totalmente por el metal, pero el frente de la misma tiene que tener solamente un patrón en forma de rejilla o de

líneas finas de metal, de otra manera el metal bloquearía al sol del silicio y no habría ninguna respuesta a los fotones de la luz incidente.

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, necesitamos considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas (“agujeros”) de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, como se esquematiza en la Figura 1.02, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos.

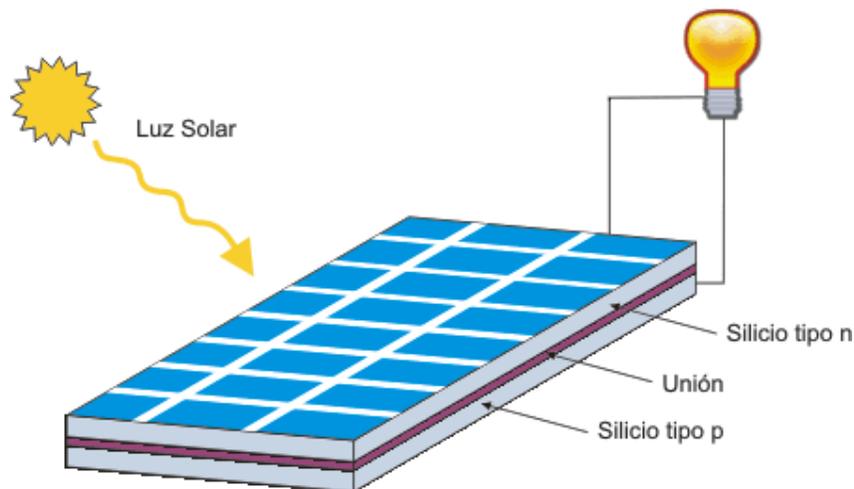


Figura 1.02 – Esquema de generación solar.

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol

Por ejemplo, las celdas solares de silicio mono cristalino actualmente no pueden convertir más del 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene

suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

Las celdas solares de silicio poli cristalino en la actualidad tienen una eficiencia menor al 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cercana al 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio mono cristalino.

Una típica célula fotovoltaica de silicio mono cristalino de  $100 \text{ cm}^2$  producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ ). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol.

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, hay límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula.

Otros tipos de materiales fotovoltaicos que tienen potencial comercial incluyen el diselenide de cobre e indio ( $\text{CuInSe}_2$ ) y telurio de cadmio ( $\text{CdTe}$ ) y silicio amorfo como materia prima.

#### *1.4- Últimos descubrimientos*

Hoy en día, hay un nuevo sistema para el mejor aprovechamiento de la luz solar como fuente de energía ha sido desarrollado por ingenieros europeos. Han conseguido por primera vez manipular la luz común, que emite fotones en una amplia gama de longitudes de onda, hasta convertirla en fotones de onda corta y alta energía, lo que supondrá la aparición de una nueva generación de células solares o fotovoltaicas. La proeza se ha conseguido mediante la combinación adecuada de dos sustancias que se activan por la luz y permite utilizar zonas del espectro de la luz del sol aparentemente perdidas para uso industrial.

Ingenieros del Max Planck Institute for Polymer Research en Mainz y del Sony Materials Science Laboratory de Stuttgart han desarrollado un procedimiento

mediante el cual la longitud de onda larga de la luz común puede ser convertida en fotones de onda corta y alta energía, lo que supondrá la aparición de una nueva generación de células fotovoltaicas, mucho más eficaces que las actuales.

Es la primera vez que la luz común, como la del sol, puede ser manipulada para combinar la energía presente en los fotones con una particular longitud de onda. Hasta ahora esta transformación sólo se había conseguido utilizando luz láser de alta energía.

Las fuentes de luz comunes emiten fotones en casi todas las direcciones, generalmente en una amplia gama de longitudes de onda. Sin embargo, un láser contiene una sola longitud de onda y emite generalmente los fotones en un rayo muy estrecho, por lo que es más fácil de manipular que la luz común.

La luz tiene una doble naturaleza: corpuscular (los llamados fotones) y ondulatoria. Y aunque todos los fotones se mueven a la velocidad de la luz, cada uno de ellos lo hace con pasos distintos que tienen una duración diferente. El período es el tiempo que tarda un fotón en dar cada paso, mientras que la longitud de onda es la distancia que recorre en cada paso.

### **Fusión de fotones**

Según explica el mencionado Instituto en un comunicado, la manipulación de los fotones de la luz común se ha conseguido mediante la combinación adecuada de dos sustancias que se activan por la luz. Los resultados de esta investigación han sido publicados en la revista *Physical Review Letters*.

Lo que perseguían estos ingenieros era establecer un procedimiento que amplificara el nivel bajo de energía de las partículas de luz común disminuyendo su longitud de onda, y lo han conseguido emparejando fotones de luz normal y alterando así su longitud de onda. Este procedimiento permitirá un mejor aprovechamiento de la luz solar para obtener electricidad, lo que supondrá la aparición de una nueva generación de células solares o fotovoltaicas.

Para poder emparejar los fotones, los ingenieros emplearon dos sustancias diluidas en una solución: platinum octaethyl porphyrin y diphenylanthracene. Mientras que una de ellas sirve como una “antena” para la luz verde entrante (molécula antena), la otra empareja los fotones, transformando los dos fotones verdes de baja energía en un solo fotón de luz azul de alta energía. Este nuevo fotón es emitido por la misma molécula (molécula emisora).

### **Proceso detallado**

De manera más detallada, el fenómeno es el siguiente: en primer lugar, las llamadas “moléculas antena” absorben un fotón verde de poca energía y lo transmiten a una molécula emisora en forma de paquete de energía.

La molécula emisora almacena así esta energía en estados “excitados”. Después, dos de las moléculas emisoras cargadas de energía reaccionan entre sí, transmitiendo una molécula su energía a la otra. Como resultado, una molécula recupera su estado de energía reducida y la segunda almacena un doble paquete de energía, que es emitido en forma de fotón azul. Este fotón azul tiene una longitud de onda corta y más energía que la luz verde emitida inicialmente, como consecuencia de la combinación de dos fotones en uno.

Según el Instituto Max Planck, el procedimiento es muy interesante desde el punto de vista químico porque, por un lado, las moléculas deben ser cuidadosamente emparejadas para permitir que la energía se transmita eficazmente y, por otra parte, ni las moléculas antena ni las emisoras deben perder su energía durante la operación.

Los ingenieros deben sintetizar una molécula antena capaz de absorber la luz de onda larga y de conservarla el tiempo necesario hasta su transmisión hacia las moléculas emisoras. Sólo sirve para realizar el proceso un compuesto metal-orgánico complejo constituido por un átomo de platino en el interior de una molécula con forma de anillo.

La molécula emisora, por su parte, debe ser capaz de recoger el paquete de energía de la antena y conservarlo hasta que encuentre otra molécula emisora excitada que permita una nueva fusión de fotones.

### **Nuevas células fotovoltaicas**

Dado que este procedimiento permite utilizar zonas del espectro de la luz del sol aparentemente perdidas para la industria, los ingenieros artífices de este hallazgo esperan que ofrezca un punto de partida ideal para la fabricación de una nueva generación de células solares o fotovoltaicas, mucho más eficaces que las actuales.

Las células solares son elementos eléctricos sensibles a la luz que, a partir de ésta, son capaces de producir electricidad. Se construyen con semiconductores. Al entrar en contacto con los semiconductores, los fotones son capaces de convertirse en dos partículas cargadas (electrón y positrón). La circulación de los electrones es lo que origina electricidad.

Las células voltaicas tradicionales funcionan gracias a los materiales que las forman. Algunos de estos materiales tienen exceso de electrones, mientras que otros tienen déficit. Así, los fotones que inciden sobre las células arrancan los electrones sobrantes de una capa y los hacen moverse hacia aquellas capas donde hay déficit de electrones o “vacíos”. De esta forma, se produce el flujo de electrones y, por lo tanto, un voltaje eléctrico.

Sin embargo, el rendimiento de las células solares está hoy por hoy limitado, entre otras razones, por el hecho de que la parte de la luz solar que es de onda larga y baja energía no puede aprovecharse. Con el nuevo sistema, la luz

común como la solar puede ser mejor aprovechada para la generación de electricidad.

Una vez descubierto el sistema que permite el mejor aprovechamiento de la luz solar para la obtención de electricidad, los ingenieros europeos se centran en optimizar el proceso, probando nuevos pares de sustancias capaces de captar otros colores del espectro de la luz y tratando de integrarlos en la matriz del polímero o macromolécula.

### 1.5- Matriz energética de la República Argentina

El consumo energético en la Argentina tiene un crecimiento anual compuesto del 3% en los últimos cuarenta años, ver Figura 1.03. Tasa que se incrementó al casi 7% en el último periodo, debido a la ausencia de precios que acompañasen el crecimiento económico.

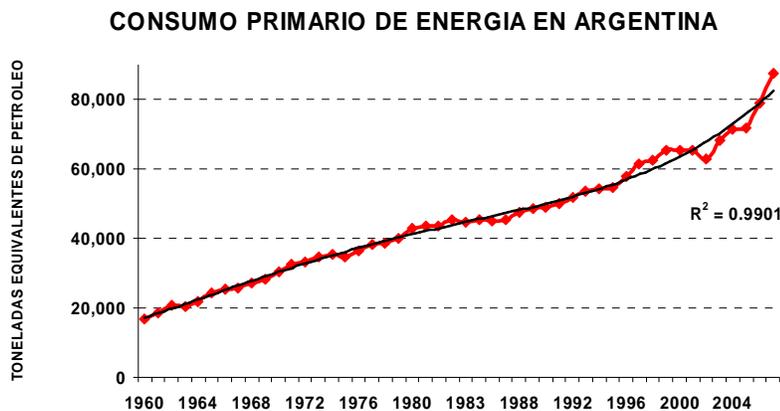


Figura 1.03 – Evolución del consumo primario en Argentina.

A su vez la matriz energética nacional, mantuvo durante todo este periodo características similares en cuanto a sus fuentes de energía renovable. La única fuente que incrementó su participación en la matriz energética es la energía hidráulica, pero de todas maneras durante todo el periodo tanto el petróleo como el gas natural mantuvieron casi el 80% del total, como se detalla en la Figura 1.04.

### Fuentes Primarias en el Balance Energético Nacional

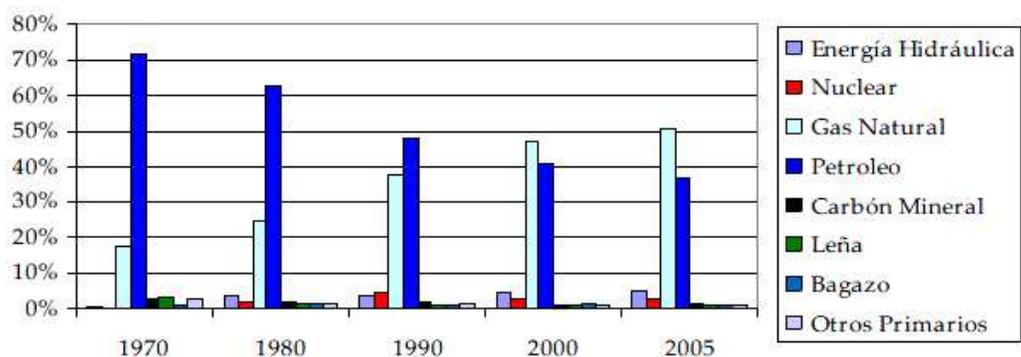


Figura 1.04 – Evolución de la Matriz energética primaria en Argentina.(1)

Se puede ver claramente como en la Argentina las formas de obtención de energía son en su gran mayoría nocivas para el medio ambiente, no solo eso, sino que se incrementa el consumo año tras año y las formas de obtención no evolucionan como evolucionan en otras partes del mundo.

Este comportamiento de la matriz energética, se debe a que en la Argentina el precio, tanto del petróleo como del gas natural reciben un subsidio que mantiene sus precios relativamente bajos con los de otros países del mundo. Además, no existió un incentivo para construir en el país centros de generación de energía verde, o un marco legal que beneficie a quienes usan estos tipos de energías.

Además, la composición del parque de generación de energía eléctrica tiene una evolución poco saludable en los últimos años, dando cada vez mayor importancia a la energía térmica por sobre las otras fuentes existentes, como veremos en las Figuras 1.06 y Figura 1.06 a continuación.

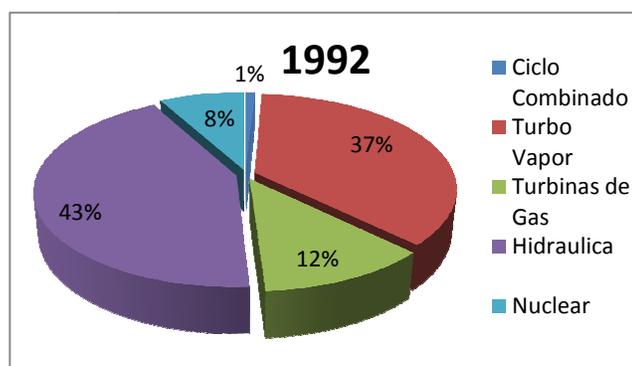


Figura 1.05 – Composición del parque generador de energía en Argentina en 1992.

(1) Fuente: Secretaría de Energía de la Nación.

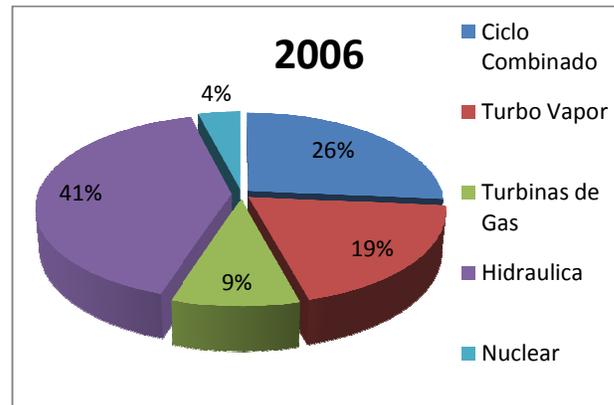


Figura 1.06 – Composición del parque generador de energía en Argentina en 2006.

Si consideramos las donde se ubican las inversiones para la creación o ampliación de la capacidad instalada, veremos que esta tendencia se acentúa cada vez mas. Proyectando las capacidades de las obras que se están haciendo, el parque de generación eléctrica quedaría conformado de la siguiente manera para el año 2010, ver Figura 1.07.

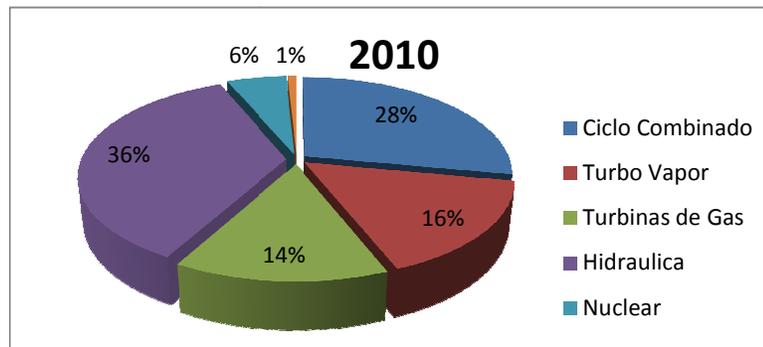


Figura 1.07 – Composición del parque generador de energía en Argentina en 2010.

Considerando el caso de la energía solar, podemos decir que Argentina (en el norte del rio colorado, aproximadamente, 2 millones de km cuadrados) recibe una radiación solar promedio anual de 4,6KW/m2.dia, y tiene una demanda anual de 500.000.000.000 KWh. Si pudiéramos capitalizar el 0,6 por mil de toda esta energía, podríamos satisfacer la demanda actual.

Estos valores analizados nos muestran que, desde el punto de vista del recurso energético, la energía solar es abundante, pero su empleo depende de los costos relativos que se alcancen para un uso integral de la misma,

incluyendo los costos de almacenamiento, ya que la energía solar es nula durante la noche.

Sumado al potencial que existe en argentina por condiciones naturales, hay que evaluar el potencial que genera la distribución de la población en la argentina, y las grandes extensiones que existen, donde el aprovechamiento del potencial solar resultaría eficiente.

# Capítulo II

## “Análisis y estudio de nichos para la Energía Solar”

## **CAPITULO II: “Análisis y estudio de nichos para la Energía Solar”**

### *2.1- Introducción*

Para poder considerar la necesidad de cualquier tecnología nueva, es importante poder definir de antemano cuales son las ventajas que esta ofrecerá en comparación a la tecnología vigente. Dichas ventajas deben ser percibidas por el usuario. En general el usuario elige por cuestiones económicas. Hoy en día no existe un costo por la contaminación. Es decir, el usuario común no ve ningún beneficio extra por consumir una energía que no sea contaminante. Desgraciadamente, este costo finalmente aparece pero quien lo paga no es el usuario sino la población en general, indiferentemente si es quien genera o no la contaminación. Es claro y son cada vez más frecuentes las catástrofes causadas por un clima alterado debido a la contaminación, y los costos de dichas catástrofes las pagan quienes las sufren, no quienes contaminan.

La energía solar es capaz de producir energía eléctrica, para obtenerla, existen dos métodos prácticos. El método mas común consiste en la utilización de las propiedades eléctricas de algunos materiales, en especial el silicio, el cual, adecuadamente tratado, es capaz de recibir energía solar y transformarla directamente en energía eléctrica. Los paneles utilizados con este fin reciben el nombre de “paneles fotovoltaicos” y su producción por parte de grandes fábricas ha recibido un impulso muy fuerte en los últimos años. La producción eléctrica de estos paneles se expresa en vatios pico, entendiéndose por esto los vatios que produce el panel a la hora en que se produce el máximo de la energía solar recibida.

Los paneles que se producen actualmente suelen llegar hasta unos 100 vatios pico y cada uno es capaz de producir voltajes de continua de hasta unos 16 voltios, lo que permite la carga directa de una batería para su acumulación y uso durante la noche. Sus precios han ido disminuyendo desde 1970, pasando de más de 20 dólares por vatio pico a valores actuales del orden de los 3,50 dólares. No obstante el descenso del costo, la energía producida es aún cara debido a que la construcción de los paneles requiere el uso de técnicas sofisticadas. El costo actual del kilovatio-hora se encuentra entre los 40 y 70 centavos de dólar, que no es competitivo frente a costos de algunos centavos para la electricidad obtenida por métodos convencionales. A pesar de ello, estos paneles se están usando en forma masiva en aplicaciones donde no llegan las líneas convencionales de energía eléctrica debido a dos causas: los paneles no tienen partes móviles y son muy duraderos, pudiéndose usar hasta

por 20 años. Por otro lado, la radiación solar se distribuye sobre todo el globo terrestre, por lo que se pueden colocar instalaciones capaces de producir pequeñas cantidades de energía eléctrica en forma completamente autónoma. Basta colocar algunos paneles y acumuladores que permitan mantener el servicio las 24 horas del día.

Hoy en día una instalación fotovoltaica pequeña puede sustituir con ventaja económica a largo plazo a una instalación con un motor diesel, que consume un combustible convencional. Su mayor costo inicial es eventualmente compensado por el bajo mantenimiento necesario para tenerlo en funcionamiento. Obviamente esto se cumple siempre que nos encontremos en una región con características de irradiación solar que permitan una generación apropiada de energía.

### *2.2- Lugares de aplicación*

Existen dos situaciones que hay que combinar para que el uso de la energía solar sea favorable frente a los otros métodos de obtención. Por un lado debemos situar el proyecto o la instalación en un lugar que reciba la radiación adecuada y además debería estar situado en lugares que por motivos de aislación geográfica no se puedan conectar a las redes convencionales de distribución de energía.

Existen en el mundo muchos lugares donde la radiación solar es apropiada, pero por estar situado en un lugar con diferentes ofertas de energía, la solar no es económicamente rentable. Así como lugares que están situados en sitios inhóspitos, sin oferta alguna de energía, pero la radiación solar es escasa, y hace imposible un proyecto de energía solar.

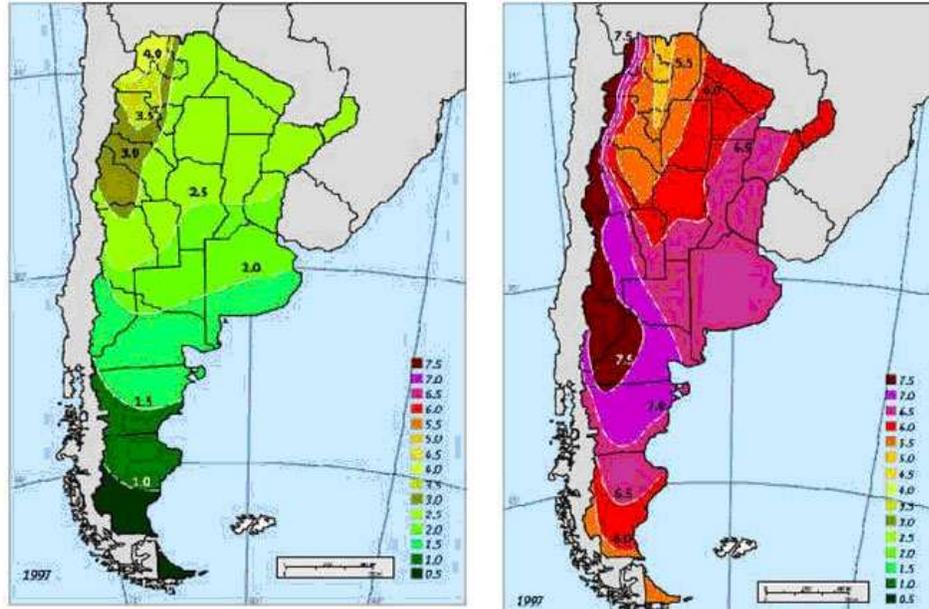


Figura 2.01 – Radiación solar en Argentina durante el mes de Julio y Enero.

En la Figura 2.01 vemos las capacidades de producción de energía solar, según su ubicación geográfica, y en la Figura 2.02 veremos la oferta que existe en el mundo de energía. Rápidamente quedara reflejado como existen ciertos lugares que tienen una alta capacidad de generación solar y sin embargo no tienen demasiada oferta. Estos son los lugares que a los precios de hoy, tanto de la energía como de la instalación de generadores fotovoltaicos, sería económicamente adecuado la instalación de energía solar.



Figura 2.02 – Niveles de iluminación del mundo.

En la Republica Argentina existen muchos de estos lugares que serian aptos para la instalación. En general la distribución de energía esta acotada a los grandes centros urbanos, dejando todo el sector rural desprovisto de energía o con una energía de alto costo.

Por ejemplo:

- I- Viviendas Rurales
- II- Puestos de Emergencia
- III- Bombeo de agua en lugares aislados
- IV- Antenas de comunicación telefónica
- V- Equipos espaciales
- VI- Etc.

Como ya se adelantó en la introducción de este capítulo son múltiples las aplicaciones de estos sistemas. En el libro "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", se hace una clasificación, bastante acertada, de los posibles usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos, que detallo en la Figura 2.03.

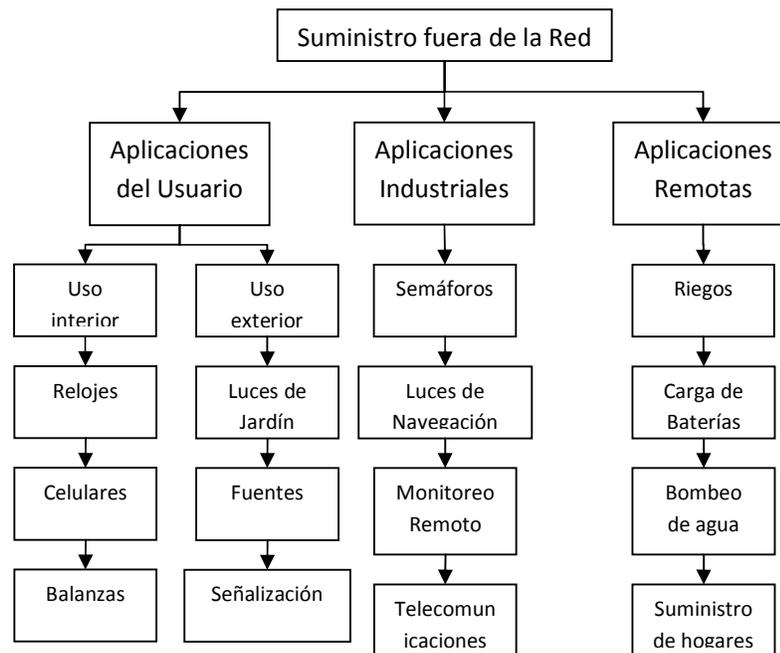


Figura 2.03 - Clasificación de los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos.

Una de las aplicaciones más importantes es la de los teléfonos de emergencia en carreteras, ver Figura 2.04. El sistema fotovoltaico autónomo alimenta un sistema telefónico por radiofrecuencia, que permite la instalación de este teléfono sin necesidad de infraestructura dedicada.



*Figura 2.04 - Teléfono de emergencia.*

La aplicación en vehículos, puede ser de 2 tipos, por un lado, para alimentar los aparatos electrónicos que se encuentren en su interior ó para alimentar el motor que mueve el vehículo. Como ejemplo de lo primero, ver figura 2.05, está el experimento que realizó el departamento de electrónica de la universidad de Jaén, España, colocando un sistema fotovoltaico autónomo para alimentar una ambulancia. La conclusión fue que sólo tenía que recargarse en diciembre, cuando la radiación es menor (para el hemisferio sur sería Julio). Aumentó, de este modo su autonomía, faltando sólo 1,5 Ah en el mes de diciembre. Además, este sistema sólo supuso un 2,5% del coste total del vehículo.



*Figura 2.05 - Ambulancia con sistema fotovoltaico autónomo.*

El otro tipo de vehículos que incorporan un sistema fotovoltaico autónomo lo hacen para alimentar el motor que mueve el propio vehículo. Desde hace muchos años se han venido haciendo carreras, con distancias de miles de kilómetros, para demostrar que estos vehículos tienen cierta autonomía. Por ejemplo, en “The Global Green Challenge” donde los participantes recorren 3000 km, como muestra la Figura 2.06. En esta competición se muestran otro tipo de vehículos ecológicos, por lo que se pueden comparar resultados de distintas tecnologías. Otra carrera, sólo para coches solares es “The american solar challenge”.



*Figura 2.06 - The Global Green Challenge.*

También existen barcos solares, que no contaminan el mar y permiten pasear sin los molestos ruidos de un motor de combustión, Figura 2.07. Estos barcos son ya una realidad para su uso recreativo y, se está probando para transporte de viajeros y mercancías en distancias más largas, sobre todo en barcos híbridos.



*Figura 2.07 - Barco de paseo solar.*

La utilización de sistemas fotovoltaicos autónomos en el espacio, es muy anterior a todas estas aplicaciones que se han expuesto anteriormente, ya en 1958 el satélite "Vanguard I" fue lanzado al espacio, con 2 transmisores de radio, uno alimentado por una batería, que funcionó durante sólo 20 días y, el otro alimentado por el sistema fotovoltaico (48 células de silicio), que estuvo operativo hasta 1964, cuando se cree que la circuitería del transmisor falló (Figura 2.08). Desde entonces, la gran mayoría de los satélites y vehículos espaciales incorporan un sistema fotovoltaico autónomo. Estos sistemas tienen la ventaja respecto a los que se instalan en la tierra de que la radiación no depende de los ciclos día y noche.



*Figura 2.08 - Ilustración de satélite con paneles solares.*

Pero no sólo los satélites utilizan la energía solar para obtener la energía necesaria para su consumo, vehículos exploradores también la utilizan. Este, concretamente, es de la misión Opportunity de la NASA en Marte (Figura 2.09).



Figura 2.09 - Vehículo explorador de la superficie de Marte (misión Opportunity).

### 2.3- Análisis Económico

Para hacer un análisis económico hay que poder compararlo con alguna alternativa. Para este análisis voy a tomar como alternativa la generación de energía a la energía que se obtiene con grupos electrógenos a partir de motores a combustión interna. Elijo esta alternativa ya que aplica a todos los ejemplos mencionados anteriormente, y no depende de casos particulares. Obviamente, este análisis aplica a una situación donde la red de energía convencional no llegue por uno u otra razón.

Además, el análisis se va a hacer sobre una vivienda rural, que tiene un consumo como el que se detalla a continuación, en la Tabla 2.01:

Item.	Cant.	Potencia (W)	Horas / Día	Consumo x Día	Consumo x Año (W*Año)
Lámparas bajo Consumo	15	20	3,0	900	328.500
Lámparas alto Consumo	5	40	1,0	200	73.000
Tubo Fluorescentes	2	15	2,0	60	21.900
TV	1	50	4,0	200	73.000
DVD	1	90	0,5	45	16.425
Codificador	1	90	3,0	270	98.550
Computadora	1	100	3,0	300	109.500
Otros	1	100	1,0	100	36.500
<b>TOTAL</b>		<b>505</b>		<b>2.075</b>	<b>757.375</b>

Tabla 2.01 – Consumo estimado de una vivienda.

Suponiendo que todos los consumos previstos se encuentran conectados, se deduce de la tabla anterior que la potencia máxima que puede demandar la vivienda es de:

$$P_{\text{máx}} = 960 \text{ W}$$

Esta comparativa se realiza con la finalidad de ver las diferencias de instalación y de amortización de los costos. Hay que tener en cuenta que las diferencias técnicas de los 2 equipos productores de energía eléctrica son sustanciales en cuanto a:

- Consumo de combustibles fósiles.
- Emisiones de CO2.

- Mantenimiento mecánico.
- Ruido producido por el equipo (si está insonorizado 60 dB contra 0 dB).
- Repuestos (cambios de aceite, filtros, etc.).
- Posibilidad de averías.
- Almacenaje de combustible (sobrecoste, instalación, peligrosidad, etc.).
- Consumo de aceite.

Un grupo electrógeno de gasoil, consume un combustible fósil procedente del refinado del petróleo para hacer funcionar un motor de combustión interna, con un rendimiento de cómo medio máximo de un 20%, el resto del poder calorífico del combustible consumido se pierde principalmente con los gases de escape, el calor de radiación y por el circuito de refrigeración. Este motor hace girar un alternador para la producción de la energía eléctrica, si bien tiene que girar a un régimen determinado de revoluciones (1.500rpm) para mantener estable la tensión eléctrica de salida, esto es, cuando no hay consumo eléctrico está a 1.500rpm, con un rendimiento negativo, ya que no produce nada y consume combustible y aceite, además sufre desgaste. Cuando está trabajando por debajo del 40% de carga eléctrica normalmente también el rendimiento es negativo. Este 20% del rendimiento del grupo electrógeno es una media.

Normalmente estos equipos están sobredimensionados para el consumo eléctrico medio que necesitan los aparatos, esto es debido a que para mantener las 1.500rpm, y se conecta un aparato eléctrico de por ejemplo 2KW, dependiendo del tipo de aparato eléctrico, éste puede arrojar un consumo pico en el arranque de 6KW, por lo que esta carga momentánea al motor de gasoil, si no está sobredimensionado, produce que el motor caiga (se apaga porque no es capaz de mantener estas 1.500rpm con carga de forma inmediata).

Una Unidad Solar Fotovoltaica (USFV), posee paneles solares fotovoltaicos con los que por medio de reguladores se cargan baterías para acumular energía eléctrica, y por medio de inversores transformar la corriente de 24 Vcc a 230 Vca (ó 400Vca). Es por esto que según el número de paneles fotovoltaicos se recupera la carga con menor o mayor rapidez, según el número y capacidad de las baterías existen un número de Amperios disponibles, y según el tipo de inversor se consigue una producción constante con una potencia pico muy elevada. El número de paneles en el caso de los USFV es fijo según el modelo: 6, 12, 24,..., siendo variable según el tipo de consumo que se requiera el número de baterías y potencia de inversores, pudiendo llegar desde 2.000 hasta 45.000 Amperios de acumulación.

En el caso de las unidades solares, tanto el consumo de combustible, como el de aceite, las emisiones, el ruido, es cero. Siendo la disponibilidad de materia

prima, luz solar, gratuita. Debido al tipo de calidad de energía eléctrica obtenida de un grupo electrógeno, debe de llevar estabilizador de tensión para no dañar los aparatos electrónicos que conectemos a este grupo de gasoil.

### 2.3.1 Instalación Fotovoltaica

En una instalación FV autónoma con acumulación, existen una serie de factores que provocan pérdidas en el rendimiento global, R, de la misma. Esto conlleva a que la energía que debe entrar en los bornes del grupo de baterías,  $E_b$ , debe ser superior a la consumida en la vivienda,  $E_{vivienda}$ , de manera que:

$$E_b = E_{vivienda} / R$$

A estas pérdidas que se acaban de describir, hay que añadir las asociadas al regulador, que se pueden estimar en un 10% (rendimiento del 90%). Por esta razón, la energía que ha de generar el campo FV,  $E_g$ , deberá ser ligeramente superior a  $E_b$ .

$$E_g = E_b / 0,9$$

A continuación se representa un esquema del sistema FV indicando las pérdidas y la energía necesaria en cada punto calculada anteriormente:

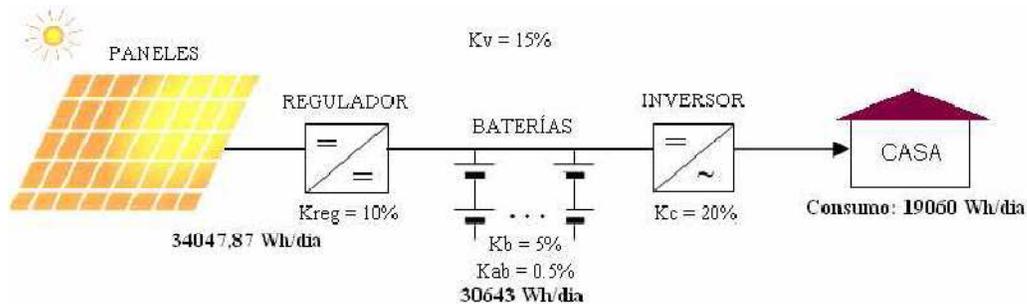


Figura 2.10 – Esquema de conexión a la red.

La *inversión inicial* asociada a la instalación del sistema fotovoltaico puede estimarse sabiendo el costo de todos los equipos que componen la instalación y el peso que tienen los equipos en la inversión total. Así pues, el desglose de precios de los equipos es el mostrado a continuación:

Equipo	Cantidad	u\$s / unidad	u\$s
Paneles Solares	12	1.567	18.804

Baterías	2	7.536	15.072
Regulador	1	3.218	3.218
Inversor	1	14.778	14.778
<b>Total</b>			<b>51.873</b>

Tabla 2.02 – Detalle de la inversión en equipos para FV.

Conociendo el porcentaje que supone la inversión en equipos dentro del costo total del sistema, como de ve en la Tabla 2.02, se podrá calcular la inversión inicial. La distribución aproximada de costes para instalaciones fotovoltaicas se presenta en la Tabla 2.03:

<b>Item</b>	<b>% de la inversión</b>	<b>u\$s</b>
Equipos	73,00%	51.873
Estructura	5,00%	3.553
Cableado	2,50%	1.776
Montaje	7,00%	4.974
Otros	12,50%	8.882
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>71.059</b>

Tabla 2.03 – Peso relativo de los distintos ítems en la inversión final.

Tal como puede observarse en la tabla de arriba, el costo total de los equipos es 51.873,00 u\$s y representa un 73%. Luego, la inversión total de la instalación fotovoltaica será 71.059,00 u\$s.

En cuanto al estudio de los *costos operativos*, este tipo de instalaciones necesitan un mantenimiento de bajo perfil: solamente se precisa de la limpieza de los paneles para una mejor captura de la energía solar.

Los costes de operación y mantenimiento estarán compuestos por el propio mantenimiento y el seguro.

El coste de mantenimiento se puede calcular en u\$s10 mensuales, lo que equivale a 120u\$s por año. Además considere una inflación en dólares del 2% anual.

En cuanto al seguro general, se puede suponer un 0,4% del valor de la instalación por año. Se escogerá un seguro específico para instalaciones fotovoltaicas que cubre todos los riesgos específicos de este tipo de instalaciones.

Los costes asociados al primer año del ejercicio económico, serán los calculados a continuación:

- Costo de Operación y Mantenimiento: 10u\$s/mes.
- Costos de Seguro de Equipos: 0,4% del valor asegurado.

### 2.3.2 Grupo electrógeno (diesel)

La elección del grupo electrógeno se hace en función de la potencia a suministrar a la vivienda, que será igual al consumo de la misma incrementado un 10% para sobredimensionar el sistema y evitar problemas de falta de abastecimiento. De esta forma, siendo la demanda diaria 8910

W, el grupo electrógeno a elegir debe tener una potencia nominal de:

$$E_{\text{grupo}} = \text{Demanda} * 1,1 = 1.056W$$

Conociendo el porcentaje que supone la inversión en equipos dentro del costo total del sistema, se podrá calcular la inversión inicial. La distribución aproximada de costes para instalaciones fotovoltaicas se presenta en las siguientes tablas (Tabla 2.04 y Tabla 2.05):

Equipo	Cantidad	u\$s / unidad	u\$s
Grupo Electrogeno	1	3.500	3.500
Tanque de Combustible	1	200	200
Total			3.700

Tabla 2.04 – Detalle de la inversión en equipos para un GE.

Item	% de la inversión	u\$s
Equipos	70,00%	3.700
Estructura	8,00%	423
Cableado	2,50%	132
Montaje	7,00%	370
Otros	12,50%	661
Total	100,00%	5.286

Tabla 2.05 – Peso relativo de los distintos ítems en la inversión final.

Las características técnicas del grupo electrógeno pueden observarse en la Tabla 2.06:

Carburante	Gasoil
Servicio de Emergencia	14 KVA / 11 KW
Servicio Principal	12 KVA / 9,5 KW
Consumo	2,5 litros / hora
Deposito	100 litros

Potencia	KVA / KW
----------	----------

Tabla 2.06 – Detalles del equipo generador diesel.

El combustible utilizado por el grupo electrógeno es Diesel. Habrá que analizar el reparto de potencias en la vivienda a lo largo de un día, para de esta forma, conocer con exactitud el consumo del grupo electrógeno.

El reparto de potencias diario se puede observar en el siguiente gráfico (Figura 2.11):

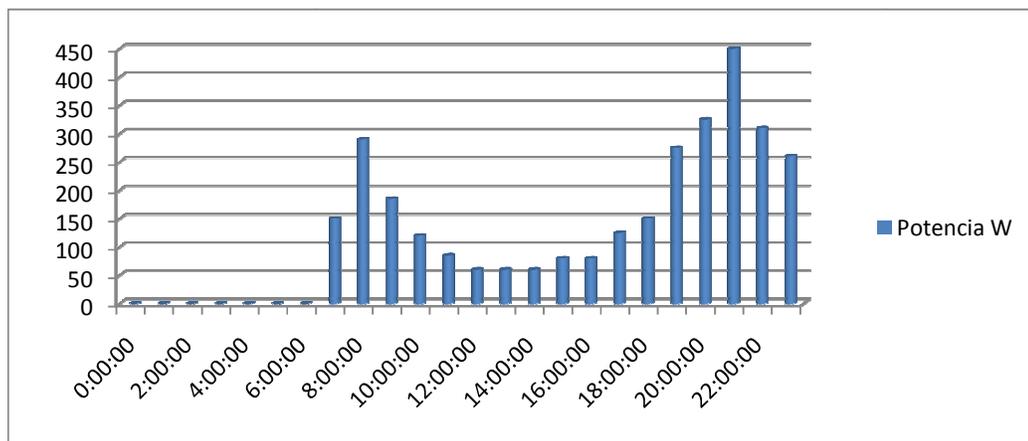


Figura 2.11 – Consumo diario detallado por hora.

Conociendo la curva carga/consumo del grupo electrógeno detallada en la Figura 2.12:

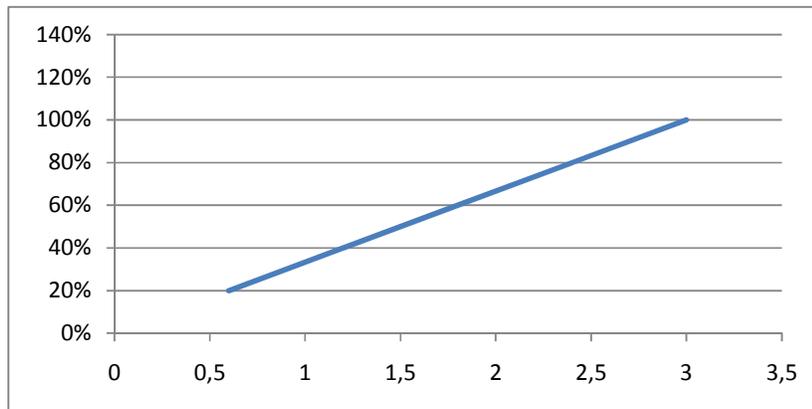


Figura 2.12 – Curva de carga/consumo del generador diesel.

De esta forma se calcula el consumo diario del grupo electrógeno, que es:

$$\text{Consumo}_{\text{diario}} = 13,80 \text{ litros}$$

Para evitar reposiciones continuas en el motor y manteniendo el criterio de diseño tomado en las otras alternativas, 7 días de autonomía, se comprueba que no es necesario un depósito adicional al del motor para poder abastecer las necesidades del grupo electrógeno a lo largo de estos días. Siendo la demanda diaria de la vivienda, 3.065 Wh, el consumo durante estos 5 días será:

$$\text{Consumo}_{7 \text{ días}} = 13,80 \text{ l/día} * 7 \text{ días} = 96,60 \text{ litros / semana}$$

Siendo el consumo anual de la vivienda, 5.037 litros, con una demanda de 1.118.725 Wh.

En cuanto a los *costes de explotación*, ha de contemplarse básicamente el coste del consumo de combustible, gasoil, y el costo de mantenimiento del grupo electrógeno.

El costo más importante del grupo electrógeno es el combustible. El consumo en litros lo calculamos previamente, pero para nuestro análisis es fundamental conocer el precio del mismo durante todo el periodo de análisis. Para esto debemos realizar una proyección del precio del gasoil durante los próximos 20 años. Dicho análisis se detalla más adelante en este capítulo.

Los costos de mantenimiento dependen de factores tales como el tamaño del motor, el tipo de combustible que utiliza o el emplazamiento en el que se encuentre situado el mismo. Así pues, los grandes motores suelen requerir menor mantenimiento por kW instalado que los más pequeños. Además, el uso de combustibles más pesados y la operación en ambientes sucios, pueden incrementar considerablemente los costes de mantenimiento de la instalación.

Los costos de mantenimiento asociados a una instalación de este tipo, considerando cambios de aceite, filtros de aire, filtros de combustible, etc. se estiman en torno a los 370 u\$s / Año considerando el uso que definimos previamente. Además considere una inflación en dólares del 2% anual.

Como seguro de la instalación, se estima un 0,4% del valor de la misma.

### 2.3.3 Proyección del Precio del Gasoil

Para realizar la proyección del precio de venta al público del gasoil existen dos posibilidades:

- i) en base a la serie histórica de precios de venta minorista del gasoil.
- ii) en base a la evolución de la cotización del principal componente del gasoil, petróleo refinado.

La posibilidad indicada en i) implica utilizar datos que no siempre reflejan la realidad económica debido a los subsidios con que el Estado nacional favorece a la producción de gasoil para mantener su precio estable.

En consecuencia, creo que sería mejor usar la segunda alternativa, ya que se pueden conseguir los datos históricos con facilidad, ver la relación entre el precio del principal componente y el gasoil y en base a la proyección del crudo estimar el precio del gasoil para los próximos años, ver Figura 2.13.

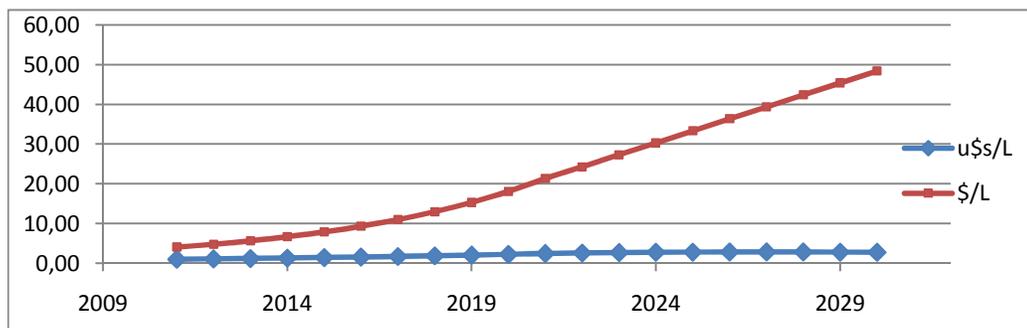


Figura 2.13 – Curva Evolución del precio del gasoil.

### 2.3.4 Análisis de los Resultados

Antes de ver los resultados económicos de las distintas alternativas en los escenarios que describí anteriormente habría que hacer una aclaración sobre el periodo de tiempo del análisis.

Decidí realizar el análisis en un periodo de 20 años. Tal vez sea un periodo un poco larga, pero como los equipos de generación solar son caros y se amortizan en un periodo de 20 años, creo que es válido tomarlo de esta manera. Por otra parte es difícil saber el valor de rezago de un equipo de generación solar, lo cual haría posible un análisis en un periodo menor que contemple la venta del equipo al concluir el periodo. Tabla 2.07 y Tabla 2.08.

**Motor de Combustión Interna**

-	
VAN 20 AÑOS:	-198.412
VAN 15 AÑOS:	-146.246
VAN 10 AÑOS:	-88.221
VAN 5 AÑOS:	-41.016

Tabla 2.07 – Resultado económico de una instalación fotovoltaica.

**Modulo de Paneles Solares**

VAN 20 AÑOS:	-78.059
VAN 15 AÑOS:	-76.476
VAN 10 AÑOS:	-74.788
VAN 5 AÑOS:	-72.987

Tabla 2.08 – Resultado económico de una instalación diesel.

Si considero que el motor a combustión interna es la opción actual y se analiza cambiar por un sistema fotovoltaico, la diferencia entre ambas situaciones sería la siguiente (Tabla 2.09):

<b>VAN 20 AÑOS:</b>	<b>120.353</b>
<b>VAN 15 AÑOS:</b>	<b>69.770</b>
<b>VAN 10 AÑOS:</b>	<b>13.432</b>
<b>VAN 5 AÑOS:</b>	<b>-31.971</b>

Tabla 2.09 – Resultado económico de una instalación fotovoltaica vs una diesel.

Con esto quiero decir que en el corto plazo es más favorable el generador diesel, pero que en el mediano y largo plazo es más favorable el uso de celdas fotovoltaicas.

Esto se debe al alto impacto de la inversión en un sistema solar, y por el otro lado a los bajísimos costos de mantenimiento que tienen estos equipos. Además del bajo mantenimiento tiene un bajísimo costo de ampliación, que en un sistema diesel sería el cambio de todo el generador. En un sistema fotovoltaico habría que agregar las celdas que sean necesarias y conectarlas en paralelo al equipo actual.

# Capítulo III

## “Energía Solar y el futuro”

## **CAPITULO III: “Energía Solar y el futuro”**

### *3.1- Introducción*

Hasta ahora se vio como la energía solar puede reemplazar las formas de obtención de energía tradicional en ciertos nichos. Esto simplemente demuestra que la tecnología tiene capacidad técnica, pero para que esta sea masiva, lo cual representaría una solución a la problemática detallada en el capítulo primero, la energía fotovoltaica debería ser capaz de alimentar a la mayoría de la población para que esta puede dejar la vieja tecnología siendo además económicamente rentable.

Hoy, como todos sabemos, la energía solar y las demás energías verdes no lograron mejorar la eficiencia económica que tiene la obtención de energía con los métodos tradicionales. Esto resulta una obviedad, y es la razón que explica que no se haya cambiado aun a las tecnologías compatibles con el medio ambiente.

Después de estudiar y leer mucho acerca de las posibilidades que tienen las energías verdes, queda claro que no va a existir ninguna de ellas que sola pueda reemplazar a la energía a base de petróleo, sino que son todas las energías verdes juntas las que van a lograrlo, cada una en el ambiente que le sea más favorable.

El objetivo de este capítulo es el de analizar las variables económicas que deberían de cambiar para que la energía solar sea una solución masiva, siempre pensando en un ambiente donde la energía fotovoltaica sea posible dadas las condiciones naturales de la zona.

### *3.2- Costo de la generación Energía Fotovoltaica*

Como toda nueva tecnología, las energías verdes se encuentran aun en un periodo inicial. Por esta razón todavía resultan caras para el uso cotidiano, lo cual hace que no existan demasiados recursos económicos para incentivar la investigación. Esto paulatinamente va cambiando hasta que entramos en un círculo virtuoso donde mucha gente quiere una determinada tecnología, lo cual incentiva la investigación, por lo que se obtienen mejoras en la eficiencia y la performance de la misma, haciendo que esta sea más barata y de esta manera aumente la gente que está dispuesta a adquirirla. Esta sería de eventos se conoce como la curva de aprendizaje.

La tecnología fotovoltaica ha crecido a un promedio del 25% anual en las últimas dos décadas, con una notable reducción de precios, que se muestra en la curva de aprendizaje. En los últimos 5 años, el crecimiento del mercado ha sido mucho mayor, a un 40% anual, principalmente porque varios países como

Alemania y España han establecido políticas efectivas de incentivos para desarrollar los mercados. Europa, Japón, Corea y Estados Unidos son los principales ejemplos de mercados bien desarrollados o en expansión. Dicha evolución se ve claramente en las Figuras 3.01 y 3.02.

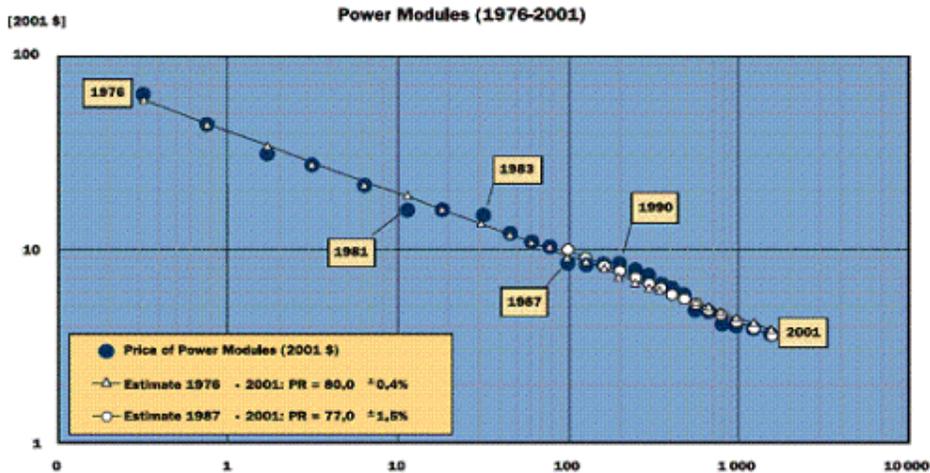


Figura 3.01 – Evolución de eficiencia de los paneles FV.

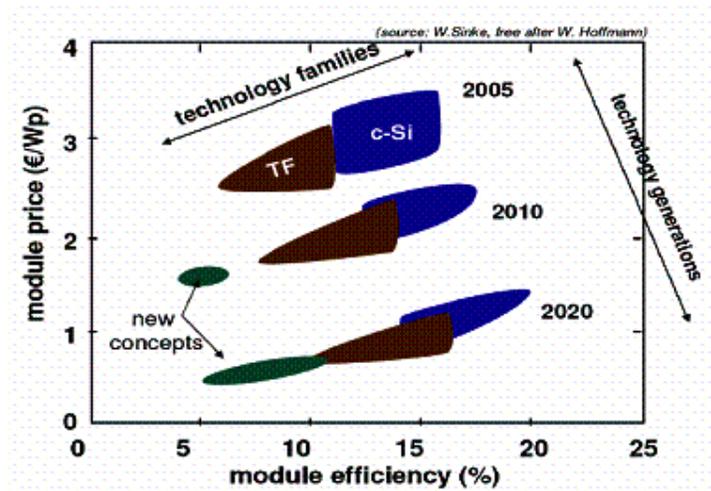


Figura 3.02 – Evolución de eficiencia y el costo de los paneles FV.

En los gráficos de arriba se ve claramente como fue bajando el precio de la tecnología a medida que paso el tiempo. Además, se ve como en los últimos

años dicho descenso ha incrementado su velocidad y se espera que sea cada vez mayor, partiendo de la lógica que explique anteriormente.

No solo ha bajado el precio sino que a su vez aumento la eficiencia del mismo, lo cual representa una mejor exponencial en la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar.

Los módulos PV son los constituyentes básicos de los sistemas de conversión fotovoltaica: Los módulos consisten en células solares que se fabrican de obleas de silicio o con capas finas activas sobre un substrato inerte. Para lograr que la energía solar fotovoltaica sea competitiva con otras fuentes de energía se requiere reducir el precio a la mitad cada década. Sin embargo, las proyecciones de la Plataforma Fotovoltaica Europea indican que si se mantienen los programas de soporte del mercado y se aumentan las inversiones en investigación, la electricidad fotovoltaica puede ser competitiva en el Sur de Europa en 2015, y en el resto de Europa en 2020.

El sur de Europa sería comparable a nivel ambiente al norte de Argentina, la única diferencia que tendríamos sería el nivel de desarrollo que existe en ambos lados.

Está claro que por el momento los países que mayor incursión tuvieron en la energía fotovoltaica han generado por medio de políticas nacionales las condiciones para que esto suceda. Es también bastante claro que cuando la tecnología evolucione no van a ser falta que existan dichas políticas, por lo que el mercado se va a ampliar muchísimo y los precios seguirán bajando. Aquellos países que hayan apostado a esta tecnología serán los pioneros y quienes podrán tomar ventajas de la situación.

Todas las llamadas energías renovables aúnan esfuerzos para conseguir la anhelada “no dependencia” de combustibles fósiles. Entre todas ellas y debido principalmente a su alto potencial de explotación, generación energética descentralizada y bajo impacto ambiental, es sin duda la energía solar fotovoltaica, la que ha levantado un mayor interés. El Sol es la más potente e inagotable (al menos en comparación con la duración de nuestro sistema solar) fuente de energía que poseemos. La conversión directa de energía solar en electricidad es una forma muy elegante de generar energía renovable. Diversas proyecciones de futuro que tienen en cuenta la necesidad de reducir el impacto del cambio climático, indican que la energía que la evolución de las energías verdes tomara la porción más importante de la matriz energética mundial, como vemos en la Figura 3.03, y dentro de las energías renovables la energía solar ocupara el lugar número uno.

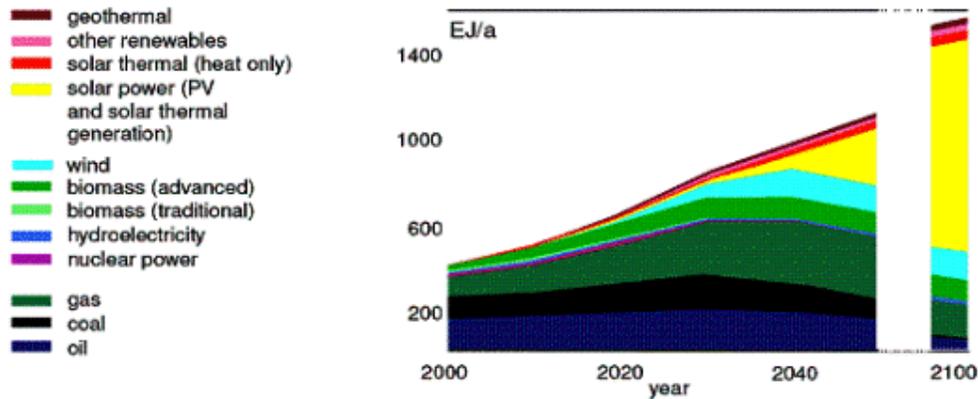


Figura 3.03 – Proyección de la matriz energética mundial.(4)

La radiación solar recibida en la corteza terrestre cada día es el equivalente a toda la energía utilizada a nivel mundial en alrededor de 25 años. Según el laboratorio nacional de Energías Renovables (NREL) de los Estados Unidos, con tan sólo cubrir un 6% de la superficie del desierto del Sahara con paneles fotovoltaicos disponibles comercialmente sería suficiente para autoabastecer de energía a toda la población mundial. Este potencial no ha pasado en absoluto inadvertido, y paradójicamente son las grandes compañías petrolíferas las que más han invertido en este sector en los últimos años. Aprovechar este recurso debidamente mejoraría no sólo nuestra calidad de vida, sino también la situación de nuestro medio ambiente ya que la energía solar fotovoltaica es una energía limpia sin apenas efectos ambientales adversos.

A continuación veremos un cuadro, Figura 3.04, donde muestra cómo van a evolucionar los costos de las diferentes tecnologías de obtención de energía “verde”, lo cual explica de alguna manera el gráfico de arriba. En el gráfico de arriba se muestra claramente como en el futuro las energías que dominaran la matriz mundial serán aquellas que no contaminen. Esto es obvio por dos razones. En primer lugar si el petróleo que es un recurso escaso se va acabar tendremos que migrar a nuevas formas de obtención de energía, en segundo lugar, si las energías verdes logran ser económicamente competitivas, estas serán mucho más aceptadas en un mundo cada vez más preocupado por la situación medio ambiental en general.

(4) Fuente: Consejo Alemán sobre cambio climático. <http://www.wbgu.de>

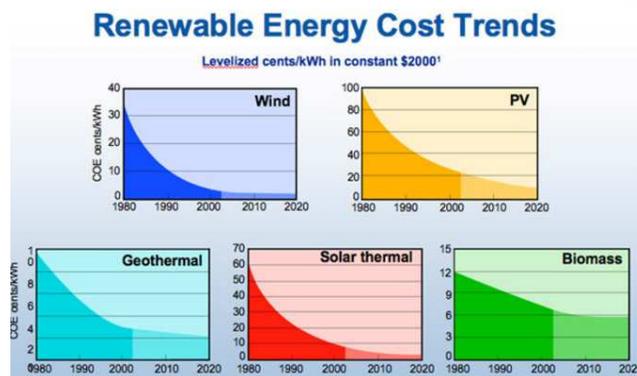


Figura 3.04 – Proyección del costo de generación según las diferentes tecnologías.(5)

### 3.3- Subsidios actuales al Sector Energético en la Argentina

Otro punto importante para el análisis son los subsidios que recibe el sector energético por parte de los gobiernos, en particular del gobierno argentino. Por eso cuando queremos compararnos con las formas actuales de generación tendremos que agregarle al costo real, los subsidios, ya que los subsidios podrían ser destinados a cualquier tecnología que reemplace a la actual. El fin de los subsidios es garantizar un servicio y no defender una forma de obtención de energía.

Los costos de una política de subsidios son su principal limitación. Estos se pueden observar en dos dimensiones. Por un lado están los costos que se generan en materia de eficiencia y distorsiones y por otro lado aparece la restricción presupuestaria. Al evaluar costos también hay que tener presente la duración de los programas de subsidios. A medida que su vigencia se prolonga, los beneficiarios van a resistirse más a su eliminación y se van a profundizar los efectos negativos. Este último sería el caso en el que se encuentra inmersa la Argentina en el 2011.

En el primer semestre del 2008 el sector energético absorbió un 66% de los fondos (\$ 8.158 M): se incluyen aquí los montos destinados a CAMMESA (\$ 4.567 M), principalmente para financiar el funcionamiento de las centrales térmicas. La empresa Energía Argentina S.A. (ENARSA) con \$ 1.450 millones para la importación de gas desde Bolivia. El Ente Binacional Yaciretá (\$ 283 M) para compensar la cesión de energía eléctrica por parte de Paraguay y la empresa Nucleoeléctrica S.A. (\$ 205 M). También se incluyen las sumas otorgadas a empresas proveedoras de combustibles líquidos en el marco del programa “energía total” para incentivar el uso de combustibles alternativos al gas natural y/o energía eléctrica (\$ 203 M) y al Fondo Fiduciario para el Transporte Eléctrico Federal con el objeto de financiar el tendido de líneas de alta tensión (\$ 91 M).

(5) Fuente: NREL Oficina de Análisis Energético. [http://www.nrel.gov/analysis/docs/cost\\_curves\\_2002.ppt](http://www.nrel.gov/analysis/docs/cost_curves_2002.ppt)

Dichas políticas de subsidios, de la cuales pude encontrar detalles del año 2008 se han incrementado exponencialmente en los últimos años y seguirán de esta manera si sigue el gobierno actual.

Este hecho genera grandes distorsiones, por ejemplo, la factura promedio de un consumidor residencial debería multiplicarse casi por 4 para que se eliminaran los subsidios que recibe el sector.

### *3.4-Costos por la generación de CO2*

Cuando generamos energía y a su vez emitimos CO2 al ambiente, tenemos un costo oculto que también habría que agregar si queremos hacer una comparación justa contra las energías verdes.

La producción de energía en uno de los más grandes contribuyentes al fenómeno del calentamiento global. Se calcula que éste sector se responsabiliza por un 46%, seguido por la producción de CFS's (24%), la deforestación (18%), agricultura (9%) y otros (3%).

El sector energético, como tal, es el mayor contribuyente al efecto invernadero. Al producir energía se emiten muchos gases contaminantes como el CO2, CO, HC, NOx, SO2, etc. De todos estos, el que en mayor cantidad se emite es el CO2, que representa aproximadamente un 56% del total de las emisiones gaseosas.

La Conferencia de Toronto de 1.988, de consenso, acordó reducir para el año 2.000 las emisiones de CO2 a los niveles de 1.987, y adicionalmente, reducir un 20% esa cifra para el año 2.005. En la Cumbre de la Tierra en Río 1.992, Dinamarca, Holanda y Alemania reafirmaron su compromiso de lograr los objetivos de Toronto y 170 países acordaron los fundamentos para una estrategia de desarrollo sostenible.

Sin embargo, desde la cumbre de Estocolmo, el número de vehículos se ha duplicado, y las emisiones de CO2 han subido casi un 30%.

La generación de energía eléctrica es un contribuyente directo en cuanto a las emisiones contaminantes. En el cuadro que veremos a continuación, se puede comparar las emisiones de CO2 por GWh generado con diversas fuentes primarias de energía. Se puede apreciar, que con este parámetro, las grandes centrales hidroeléctricas tienen el menor índice de emisiones (inclusive la nuclear como fuente, resulta "limpia", en emisiones de éste tipo).

Fuente	Toneladas de CO2/GWh
Carbón	964
Diesel	820
Gas	484
Geotermia	57
Micro-Hidrogenación	8
Nuclear	7,8
Eólica	7,4
Fotovoltaica	5,4
Grandes Centrales Hidroeléctricas	3,1

Tabla 3.01 – Generación de CO2 según el tipo de tecnología.

En la Tabla 3.01 vemos como las energías a base de petróleo generan mucho mas emisiones que el resto de la formas de obtención de energía. Vemos además que la energía nuclear y la hidroeléctrica tienen emisiones bajísimas y no las considere cada vez que hable de las energías verdes. Esto se debe a que la generación a partir de grandes represas hidroeléctricas no genera emisiones pero si alteraciones en los ecosistemas, debido a los embalses enormes que necesitan para ser eficientes. De la energía nuclear no queda más que ver lo que pasa en la actualidad en Japón. Además los residuos que genera siguen siendo una incógnita y no tienen un tratamiento adecuado.

En definitiva, todos estos comentarios se podrían resumir en un impacto económico que deberían de pagar los generadores de energía según la tecnología que usen. Estos costos ambientales se pueden observar en la Tabla 3.02, que contabilizando todos los impactos, donde una de las fuentes más caras resulta la nuclear, seguida por las fuentes térmicas, siendo las de menor costo las renovables.

Fuente	c\$US/kWh
Nuclear	2,1 a 12,4
Térmica a base de Petróleo	1,5 a 4,2
Fotovoltaica	0,3
Eólica	0,01

Tabla 3.02 - Costo de impacto ambiental por Generación de Electricidad.

Si se tomaría en cuenta éstos costos ambientales y, se los suma al precio de la energía, se observaría que ya es más barata la generación con energías renovables en muchos casos.

En el caso fotovoltaico aunque este sistema no genera problemas ambientales en aire suelo o agua (exceptuando la utilización de baterías), existen algunos impactos debido a su proceso de fabricación debido a los materiales utilizados (ácidos, gases, óxidos) y la energía comercial utilizada. Comparativamente sus impactos ambientales son iguales a los de la industria electrónica, posibles de mitigarlos tecnológicamente.

### 3.5-Precio del Petróleo

La producción de cualquier pozo de petróleo a lo largo de su tiempo de vida útil sigue una curva en forma de campana, a la que se denomina “Curva de Hubbert”. Esto significa que aunque al iniciarse la explotación la producción de petróleo aumenta rápidamente, de forma que se puede extraer cada vez mayor cantidad con muy poco esfuerzo, a medida que va pasando el tiempo el aumento de la producción va perdiendo fuerza hasta que se alcanza un máximo a partir del cual la producción comienza su declive hasta el agotamiento del pozo.

El “Cenit del Petróleo” es el término que se aplica al punto de la curva de Hubbert en el que se logra la máxima producción, y se alcanza cuando se ha extraído aproximadamente la mitad del petróleo existente inicialmente. Una vez pasado el cenit, se inicia el descenso de la producción que, siguiendo la forma de la campana, al principio se va dando poco a poco más rápidamente.

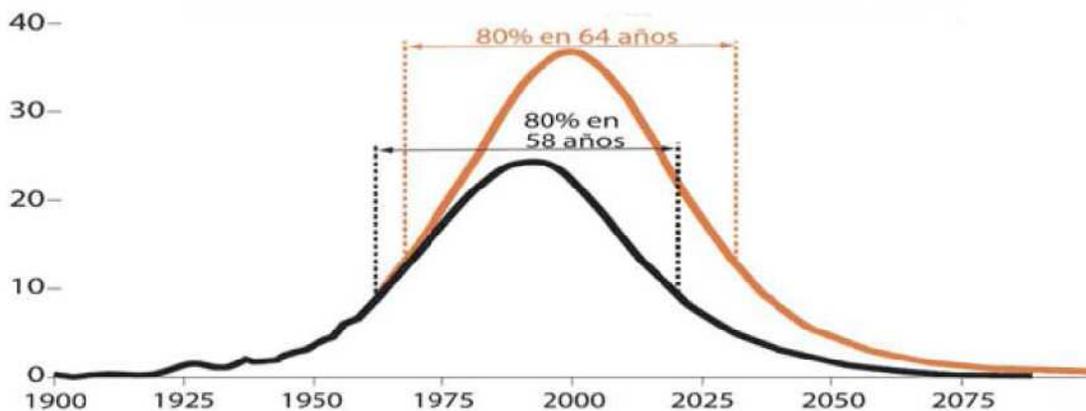


Figura 3.05 – Proyección de la producción mundial de petróleo.(6)

(6) *Energy and Power*, A Scientific American Book, 1971, pg 39.

La Figura 3.05 de arriba muestra la proyección de la producción mundial de petróleo realizada por Hubbert en 1971 y publicada en Scientific American. La curva superior muestra que, aunque las reservas fuesen vez y media mayores, la fecha del pico de la producción solo se retrasaría ocho años, y el tiempo que la humanidad invertiría en consumir el 80% de todas las reservas mundiales se ampliaría tan solo seis años.

El desconcierto sobre los pronósticos del precio del crudo, surge a partir de que la actual crisis difiere de las anteriores, pues responde a un cambio estructural en la demanda. La reactivación mundial y la irrupción de China e India como jugadores de peso en el tablero global productivo son clave.

A pesar de ello, y guiándome por la ley de oferta y demanda, es claro que a menor oferta y con una demanda creciente, el precio del petróleo seguirá subiendo en lo próximos años en una escalada que no se va a detener mientras no cambie la estructura del sistema. Es decir para que el precio deje de subir la demanda debería de bajar. Y claro está, la demanda va a bajar cuando existan otras fuentes de energía que reemplacen al petróleo. Dichas fuentes son hoy en día las mencionadas energías verdes.

### *3.6-Conclusiones*

En definitiva, viendo los dos escenarios, energía a base de petróleo vs energía verde, y viendo como evolucionarían en el futuro podemos concluir que en un periodo de tiempo menor las energías verdes reemplazarían a la actual fuente.

Por un lado, las tecnologías que hoy se encuentran en desarrollo maduraran en poco tiempo, y podremos gozar de ellas a precios razonables.

Dicho efecto también se va a potenciar por la evolución negativa que tendrá la energía a base de petróleo, que es hoy en día la fuente con mayor peso en la matriz energética mundial. Me refiero, a que el petróleo va a aumentar su precio en los próximos años, por ende va a aumentar el precio de sus derivados, la energía eléctrica entre ellos.

Además estamos ante un escenario de mayor conciencia medioambiental, lo cual va a elevar las presiones sobre los generadores de gases contaminantes. Hoy las presiones no son altas, pero lo serán cada vez más.

Todos estos hechos muestran claramente que más que una intención de mejorar la situación ambiental del mundo, las energías verdes, y especialmente la energía solar serán en un futuro cercano la solución a dos problemas importantes en el mundo que hasta ahora parecían contrapuestos, la energía y la contaminación.

# Capítulo IV

“Incentivos y marco legal  
para el desarrollo de  
Energías Renovables”

## **CAPITULO IV: “Incentivos y marco legal para el desarrollo de Energías Renovables”**

### *4.1- Introducción*

Las energías renovables son sin duda una solución para satisfacer la necesidad energética de la población desde el punto de vista técnico. Son además una solución que no tiene asociado el problema de la contaminación. Sin duda lo único que haría falta para que dichas energías sean una realidad es que además fuesen económicamente rentables.

Hay dos variables que son importantes para evaluar la rentabilidad del negocio según vimos en los capítulos anteriores. En primer lugar, las inversiones necesarias para un proyecto de energía renovable van a ser cada vez mayores. A medida que se invierta más en investigación, los equipos serán cada vez más eficientes y obviamente más baratos. Por otro lado, el precio del petróleo tiende a subir, ya que la demanda del mismo aumenta constantemente y oferta disminuye, ya que se trata de un producto no renovable.

Estas son según mi punto de vistas las variables con mayor impacto, aunque, claro está existen una infinidad de variables que afectan el proceso de cambio de una tecnología a la otra. No falta la hipótesis que dice que las grandes corporaciones intentan matar las tecnologías emergentes es pos de cuidar su negocio tal cual es hoy en día. Contra esto no tengo mas que pensar que quienes hoy tienen un negocio de energía a base de petróleo, tienen que estar buscando un reemplazo para poder seguir haciendo su negocio, ya que tarde o temprano el petróleo se va a terminar. Esto último no es un supuesto sino una realidad.

Por otro lado, la energía generada a partir de métodos no contaminantes a estado demostrando en algunos países, que apoyan estas tecnologías, sus beneficios, y de a poco los beneficios pasan de ser medio ambientales a medio ambientales y económicos. Esto último es lo que al final del día va a inclinar o no la forma actual de generar electricidad actual a una mas armónica con el medio.



Figura 4.01 – Círculo virtuoso, experiencia Alemana.(7)

El grafico de arriba, Figura 4.01, simplemente muestra un círculo virtuoso que se genero en Alemania con el uso de energías solares, que fueron posibles gracias al apoyo político.

#### 4.2-Incentivos para la generación de energías renovables

Dadas las condiciones económicas que tiene la generación de energías renovables, para que se realicen inversiones en el sector es necesario que quienes invertirían en estos proyectos reciban un incentivo de algún tipo.

En el mundo hay dos tipos de incentivos que se dan para estimular la instalación de centrales generadoras de energía renovable no contaminante. Por un lado existe la modalidad que esta implementada en Alemania y España (entre otros), que se llama "Feed In", o modalidad de mínimo precio. Por otro lado está la que usan países como Inglaterra o Australia llamado sistema de certificados verdes (Cuota system). Actualmente el modelo con mayor éxito es el del precio mínimo. En la Figura 4.02, vemos la participación de dichos esquemas en Europa.

(7) Fuente: Craig Morris. Petite Planet. <http://www.petiteplanete.org>

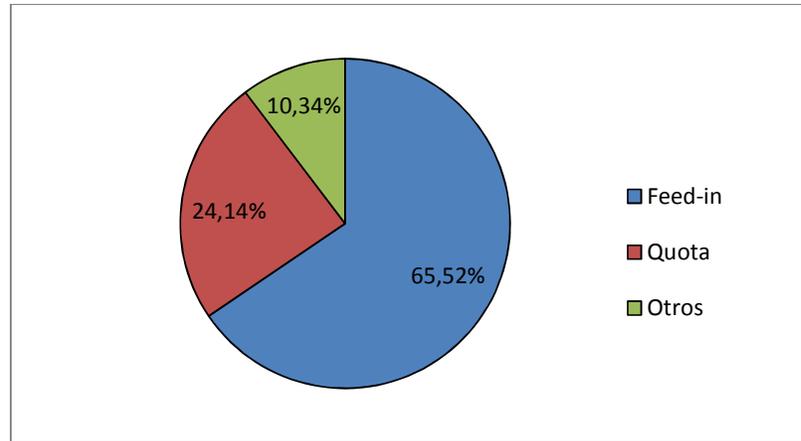


Figura 4.02 – Participación de los distintos esquemas de tarifas en Europa.

El modelo de “Feed-in Tariff” se basa en que las empresas de distribución de energía tienen obligación de comprar la energía proveniente de la generación renovable. En general los productores de energía renovable tienen en algunos momentos un excedente de energía que almacenarlo en baterías les sería caro, por lo que les conviene distribuirlo y luego tomar de la red cuando su producción sea deficiente.

Además el precio al cual los distribuidores de energía compran el excedente lo fijan las autoridades de cada país dependiendo del tipo de tecnología que se usó para su generación.

Esto le permite a quien genera las energías verdes financiarse y obtener previsibilidad en sus márgenes económicos acotando de esta manera el riesgo que dicha inversión puede tener. De esta forma el conjunto de los usuarios de energía estarían pagando esta tecnología, y no aquellos que se encuentran en el área de generación de energías renovables.

El sistema de cuotas, obliga a los comercializadores a que un cierto porcentaje de su energía provenga del grupo de energías renovables. Además, existen lo que se llama como certificado de energía verde, que se le entregan a los generadores de energías verdes y que estos los pueden vender a los distribuidores para que cumplan con su cuota. La autoridad es quien define el porcentaje que deben de alcanzar y las multas para quienes no cumplan con dichas metas.

Este sistema no garantiza ningún ingreso preestablecido, lo cual genera incertidumbre lo que limita el financiamiento de estos proyectos.

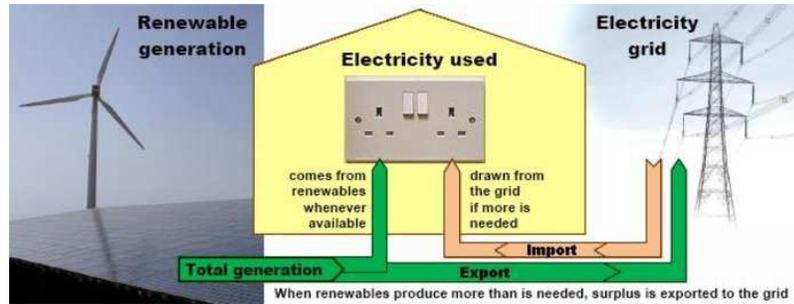


Figura 4.03 – Modelo de convivencia entre la red tradicional y las energías verdes.

Arriba, en la Figura 4.03, vemos como sería el modelo en el cual las energías renovables conviven con las energías tradicionales a través de una misma red de distribución. Esta red toma energía de la generación renovable y los generadores toman energía de la red. Obviamente el generador entrega cuando les sobra y toma cuando le falta. Pero como la energía renovable está mejor valorada que la energía tradicional, el saldo es positivo. A continuación veremos los distintos casos exitosos que existen en el mundo de políticas que apalancan la generación renovable.

### Caso Alemán

Alemania es actualmente el país que posee la mayor cantidad de potencia eléctrica instalada proveniente de energía eólica del mundo. Además de esto tenemos que Alemania cuenta con una de las más altas tasas de crecimiento de instalación de energías renovables. Todo esto nos dice que Alemania se puede considerar como uno de los países líderes en la implementación de energías renovables en el mundo.

### Antecedentes

Alemania, en el año 1991, regula por primera vez la conexión y remuneración de las energías renovables mediante una Ley de Abastecimiento Energético. Con esta ley se obliga al operador de la red a comprar toda la energía renovable producida en el sistema. Como estas fuentes son más costosas que las convencionales, el operador paga un sobreprecio que es fijado por la autoridad. A estas tarifas se les llamaron "Feed-in Tariff".

En el año 2000 la ley de abastecimiento energético es reemplazada por una ley de energías renovables que contiene un nuevo mecanismo de apoyo a las energías renovables. El objetivo principal de esta modificación es lograr complementar el desarrollo energético con la protección del medio ambiente.

#### Forma de cálculo de tarifas

Las leyes alemanas fijan el precio de la energía para los distintos tipos de generadores de energías renovables. Dadas las grandes diferencias de costos entre las distintas tecnologías, estas tarifas son calculadas de manera independiente para cada una de las tecnologías que utilizan energías renovables. Las tarifas son diferenciadas sin considerar bonos adicionales, según los costos de instalación, operación y mantenimiento de cada una de estas tecnologías.

Los factores considerados en el cálculo de tarifas para generadores que utilizan energías renovables, se pueden ver a continuación.

1. Costos de inversión: incluye el valor del terreno, compra de maquinarias, valor de la instalación del generador, obras civiles, etc.
2. Costos de operación: incluye el costo del combustible en el caso de generadores que utilizan biomasa o biogás, costo financiero del capital invertido, vida útil del generador y además incluye la utilidad para el dueño de los generadores.

#### Caso Español

Junto con Alemania tenemos que España es otro de los países líderes en la instalación de generadores a base de energías renovables. Actualmente ocupa el segundo lugar, después de Alemania, en la instalación de generadores eólicos. En España la generación de electricidad con energías renovables tienen una gran participación en la matriz energética alcanzando para el año 2006 el 19.13% del total de la energía consumida.

#### Antecedentes

Con el objetivo de diversificar la matriz energética, el gobierno español en el año 1981 promulgó el Real Decreto 1217/81 en donde se reconoce el aporte realizado por las energías renovables. En ese entonces entre los motivos que impulsaron al decreto no se encontraban argumentos medioambientales, sino que este decreto se desarrolló como una decisión estratégica para buscar independencia energética. Para este fin se establecieron los siguientes principios:

1. El sistema está obligado a comprar toda la energía proveniente de generadores a partir de fuentes renovables.
2. El gobierno será el que fije el precio para las energías renovables
3. Se facilitará la conexión a la red para los generadores de energías renovables.

Luego en el año 1994 se realizan modificaciones legislativas mediante el Real Decreto 2366/94 en la que entre otros cambios, se reconocen a los sistemas de cogeneración como energía renovable.

Recién en el año 1998 se introdujeron a la legislación los temas medioambientales relacionados con las energías renovables mediante el Real Decreto 2818/98. Este decreto establece las normas para la operación de los generadores renovables dentro de un mercado liberalizado, en donde a estos generadores se le fijan precios en una banda entre el 80 y 90% del precio medio de la electricidad. Actualmente tenemos que los generadores renovables se rigen según el Real Decreto 661/2007 el que a continuación describimos.

#### Forma de cálculo de tarifas y Real Decreto 661/2007

El Real Decreto 661/2007 define que las tecnologías de generación incluidas y normadas por él tendrán un tratamiento especial. Las energías pertenecientes a este régimen especial son todas aquellas (Textual del Decreto) “energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de bio-carburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario”.

Los generadores de energías renovables que se acogen a este Decreto, tienen la posibilidad de escoger entre dos formas de remuneración, pero deben permanecer a lo menos un año en el sistema de remuneración escogido. Las alternativas que da el decreto son:

1. Vender la energía a la empresa distribuidora a un precio por esta energía fijo y establecido por la autoridad.
2. Vender la energía en el mercado, a través del sistema de ofertas que gestiona el operador del mercado, en el sistema de contratación bilateral, a plazo ó una combinación de todos estos medios. El precio al que se le compra la energía en este caso será el precio de mercado más unos bonos adicionales.

Independiente del sistema escogido, las empresas distribuidoras están obligadas a conectar a sus redes a las empresas generadoras que se acogen a este decreto. Si la empresa generadora elige vender su energía al precio fijo regulado, la distribuidora está obligada a firmar un contrato con la generadora en donde se estipula la compra de toda su energía. Esta compra es financiada por todas las empresas distribuidoras del país de manera que no se esté perjudicando a las distribuidoras situadas cerca de los centros de producción de electricidad a base de energías renovables. En el caso que la empresa generadora opte por vender su energía en el mercado, la empresa distribuidora no está obligada a comprar su energía.

Para el cálculo de la tarifa regulada, la autoridad se basa en los costos de instalación y mantenimiento del generador. La tarifa regulada corresponde a un porcentaje de la tarifa media regulada para los consumidores. Para el caso de los generadores que venden su energía en el mercado, el cálculo de los bonos también se calcula como un porcentaje de la tarifa media promedio de la electricidad.

Estas tarifas son publicadas todos los años y son revisadas cada cuatro y en caso de haber algún cambio de tarifas producto de alguna situación especial, estos no son retroactivos. Además de esto, en el caso que la potencia instalada de alguna tecnología alcance cierto límite impuesto por la autoridad, las tarifas para esta tecnología también sufren revisión.

Hay algunos puntos más que decir acerca de las tarifas tales como:

1. La tarifa que se les paga a los generadores depende del tamaño de la central de modo tal que no exista un beneficio que provenga de las economías de escala que se producen a estos niveles de generación.
2. Los bonos que se pagan a los generadores que venden su energía en el mercado de bolsa están compuestos de un premio por participar en el mercado más un incentivo.
3. Para los generadores a partir de biomasa también existen diferencias de precios pagados según el combustible que utilicen. La tarifa más baja es la pagada a los productores que utilizan la biomasa extraída de desechos urbanos.
4. Otro punto incluido en el decreto es la obligación que tienen los generadores acogidos a él de adscribirse a un centro de control de generación, que es el que monitorea en tiempo real las instalaciones y el que se encarga de que sus instrucciones se lleven a cabo de forma tal que el sistema opere de una manera fiable. Esta adscripción es un requisito para el pago de la tarifa.

### Caso Australiano

Como ya mencionamos, Australia es uno de los países en que se ha implementado el modelo de "Quota System" para promover la implantación de generadores eléctricos a base de energías renovables.

Este modelo no fija una tarifa para los generadores, sino que se remunera a esta energía según el precio de la energía del sistema, pero además existe otra remuneración (que funciona como un incentivo) en la forma de bono de energía renovable, el cual ayuda a financiar la inversión y los costos de operación del generador.

### Antecedentes

En el año 200 se crea la ley llamada “Mandatory Renewable Energy Target” (Objetivo Obligado de Energías Renovables). Mediante esta ley se persigue normar el uso de energías renovables en generación eléctrica, la reducción de emisión en Australia de gases que contribuyan al efecto invernadero y certificar que los generadores renovables no contribuyen a este mal.

#### Cálculo de tarifas

Como ya mencionamos, en este modelo no se fijan tarifas a la energía, ya que los generadores por el concepto de energía reciben el precio de mercado. Aquí la compensación para los mayores costos e incentivo para estos generadores vienen dados por los “Renewable Energy Certificates” ó Certificados de Energía Renovable (CER). Estos certificados son entregados a los generadores renovables certificados por cada MWh de energía que aportan al sistema (1MWh Renovable = 1 CER). Este derecho a certificado solo lo poseen los generadores eléctricos a base de energía renovable instalados después del año 1997.

En esta legislación se le obliga a las empresas comercializadoras de energía el acreditar que un cierto porcentaje de sus ventas provienen de energías renovables, por lo que estos certificados de energía renovable conforman la base de un nuevo mercado en el sector.

Estos certificados CER se comercializan actualmente a un precio cercano a los 30US\$ por cada CER, y el no cumplimiento de la obligación por parte de los comercializadores tiene una multa impuesta de unos 45US\$ por cada CER no demostrado.

No obstante el comercializador que haya incurrido en multa tiene la posibilidad de cumplir con este deber dentro de los próximos tres años posteriores a la falta, de esta forma, después de haber cumplido con su déficit, se le devuelve el dinero que pago como multa.

Los comercializadores además tienen el derecho de comprar más CER de los que necesitan para establecer una “cuenta de ahorro de certificados” para ser usada en el futuro.

Cuando se creó la ley en el año 2000 se debatió acerca de en cuanto debía incrementarse la generación eléctrica con energías renovables para el año 2010. Se pensó en un comienzo fijar un incremento de 2% esto significaba aumentar la participación de las energías renovables de un 10.5% en el año 2000 hasta un 12.5% para el año 2010. Posteriormente se tomó la decisión de fijar el incremento total de energía generada a partir de fuentes renovables para el año 2010 en 9500 GWh. Esto representará un incremento de participación de 0.3%.

#### *4.3-Sistemas Complementarios de Incentivos*

##### **Energía Verde**

Si hablamos de sistemas de apoyo complementarios, nos encontramos con la Energía Verde o Electricidad Verde.

Es un sistema voluntario. La comercializadora oferta esta energía a los consumidores que son los que eligen. Una certificadora asegura al consumidor que se ha producido con energías renovables la misma cantidad de Kwh que ha consumido. Simplemente el consumidor solicita un cambio de tarifa. En el caso de España, la energía verde que se oferta procede de energía obtenida en centrales mini hidráulicas acogidas al régimen ordinario. La Certificadora, en este caso RECS no permite que proceda de energía acogida al régimen especial, por percibir ya una prima.

La ventaja del sistema se centra sobre todo en la imagen medioambiental que aporta, sobre todo, a la empresa u organismo que contrata el servicio. El sobre coste que tiene este contrato, se suele invertir en renovables o medioambiente, pero esto ya depende de la comercializadora que oferta la energía. La desventaja como ya se ha dicho, es el pequeño aumento que se le aplica a la tarifa eléctrica.

##### **Protocolo de Kioto**

Para cumplir con Kioto se han diseñado los mecanismos de flexibilidad que ayudaran a reducir o por lo menos a mantener las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Estos mecanismos son lo siguientes:

El mercado de derechos de emisión es un sistema, que más que favorecer a las energías renovables, va a perjudicar a las energías convencionales.

El funcionamiento es el siguiente, a las instalaciones emisoras de gases de efecto invernadero, se les asignará unos derechos de emisión. El mercado comienza cuando a las instalaciones que reducen sus gases, les "sobran" los derechos de emisión. Estos derechos los venden a las instalaciones que emiten más que su equivalente en derechos, para cumplir con la directiva se ven obligados a comprar o sino a pagar una multa. Según vayan pasando los años, se irán reduciendo el número de derechos.

No sólo los propietarios de instalaciones pueden comprar o vender derechos, sino que cualquier persona podrá adquirirlos, una vez repartidos.

Como ventajas, se puede señalar, que va a encarecer la producción de energía que provenga de fuentes convencionales emisoras de CO<sub>2</sub>, además de dañar la imagen de la industria que tenga que adquirir estos derechos.

Junto al comercio de emisiones se han diseñado otros mecanismos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento de Kioto, que son los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), (transferencia de tecnología limpia entre países con compromisos de reducción y países en desarrollo), y la Implementación

Conjunta (IC), (proyectos de tecnología limpia entre países con compromisos de reducción desarrollados y con economías en transición).

#### *4.4-Conclusiones acerca de los sistemas de incentivos*

El sistema de primas en general funciona de una forma muy sencilla, el productor inyecta en la red los Kwh producidos y por cada Kwh cobra un dinero, que puede ser fijo o variable. En España, el precio fijo es estipulado anualmente y se mantiene a lo largo del año, y el variable se compone de dos términos, la prima (fijada al igual que el precio fijo anualmente) más el precio del pool (que es el dinero que cobran las energías convencionales por Kwh). Hasta ahora el precio variable es el elegido por la mayoría de los productores. Sólo al principio de cada año se puede cambiar de fijo a variable o viceversa.

La ventaja que tiene el sistema, es su certidumbre y predictibilidad, al no depender del mercado, y ser fijados los precios por el gobierno, el productor fácilmente estima la rentabilidad que puede tener el proyecto. Además es un sistema muy sencillo en cuanto a su funcionalidad. Resulta muy atractivo para el inversor. Hasta el momento ha resultado ser un sistema eficaz.

La desventaja, la dificultad de fijar la prima correcta a cada tecnología, fijar la prima por debajo de lo debido, conlleva a que esa tecnología no termine de despegar, que las inversiones para cada proyecto sean muy altas y no se alcancen la rentabilidad deseada, es el caso de la biomasa en España. Fijar la prima por encima de la adecuada, significa cargar este sobre coste al consumidor final, lo que provocaría crear una mala imagen al conjunto de las energías renovables. Fijar la prima correctamente al desarrollo tecnológico, significa tener un sistema altamente eficiente.

Gracias a este sistema en España, la energía eólica ha despegado, ayudada por la convicción del promotor que vio el fuerte potencial que tenía e invirtió en tecnología. También se ven resultados muy satisfactorios en mini hidráulica y fotovoltaica. Tal vez ha sido la biomasa, la tecnología con mayor dificultad de desarrollo.

No en todos los países europeos el sistema de prima funciona de igual manera. En Alemania, el país con mayor potencia eólica instalada, la prima es fija a lo largo de 20 años (tiempo estimado como vida útil del parque), en estos 20 años existen dos periodos, en los primeros 5 años la prima es más alta, tiempo que se puede alargar dependiendo de la productividad del parque. Esto da seguridad para invertir al promotor.

En los casos de Francia y Portugal la prima varía en función de la productividad del parque, para un periodo de 15 años en el caso Francia y un periodo indeterminado en el caso de Portugal.

El sistema de certificados verdes negociables es otro de los sistemas regulados que se ha implantado para el desarrollo de las energías renovables, y que se ha aplicado a varios países comunitarios.

El funcionamiento es algo más complejo que el de sistema de primas.

El regulador del mercado reparte los certificados verdes a los productores de renovables, según potencia instalada, a la vez que impone una cuota renovable a las comercializadoras (tienen que cubrir un porcentaje de venta de energía con renovables), de esta forma compran los certificados a los productores para cumplir con la cuota, sino cumplen tienen que pagar una multa.

La ventaja que tiene es su eficiencia teórica, es teórica porque al final interviene el regulador del mercado y es un sistema controlado.

Como desventaja es que se establecen dos mercados, el mercado de la electricidad y el mercado de los certificados, dos mercados inestables, no están asegurados a largo plazo, hay inestabilidad en el precio. Los certificados no tienen precio fijo, si hay demanda el precio sube, sino el precio se mantiene o baja.(como en la bolsa)

Otra desventaja es que sólo se utiliza un tipo de certificado, es decir da igual de donde procede el Kwh, con esto se discrimina a las fuentes renovables menos maduras y que necesitan más apoyo para su implantación.

Con todo lo visto anteriormente, y con los resultados obtenidos de los sistemas en los distintos países, el sistema que mejor funciona y el que mejores resultados ofrece, es el sistema de Primas o Tarifas.

Si ponemos de ejemplo la energía eólica, los tres países europeos con mayor potencia instalada tienen impuesto el sistema de primas, que son Alemania, España y Dinamarca. En el 2003 el 79 % de la potencia que se instaló en Europa, provino de países con el sistema de primas.

El siguiente cuadro, Tabla 4.01, resume las características de los dos sistemas principales (regulados).

<b>Criterios</b>	<b>Primas</b>	<b>Certificados</b>
<b>Aplicación</b>	Sencilla (pago por KW inyectado)	Compleja (cuota anual, emisión de certificados, intervención de mercado)
<b>Atractivo para el Inversor</b>	Alto (certidumbre y predictibilidad)	Bajo (incertidumbre y riesgo por precio certificado y mercado)
<b>Eficiencia</b>	Alto (si se ajustan las primas y con primas en función de las horas)	Teórico (al final requiere la intervención del regulador, lo que reduce la eficiencia)
<b>Eficacia</b>	Alto (permite consecuencias de resultados. Experiencia)	Bajo (por poco atractivo al inversor)

Tabla 4.01 – Comparación entre los modelos de incentivos.

# Capítulo V

## “Conclusiones y Recomendaciones para la Republica Argentina”

## **CAPITULO V: “Conclusiones y Recomendaciones para la Republica Argentina”**

### *5.1- Introducción*

Luego de analizar la situación energética mundial, de habernos introducido en las energías renovables, haciendo foco en la energía solar, y tomando ejemplos exitosos de otros países, no queda más que concluir y recomendar soluciones para el sector energético en la Republica Argentina del 2011.

Tal vez, la primera conclusión a la que pude llegar mientras fui escribiendo y leyendo del tema es que las energías renovables son un paquete que en su conjunto representan una solución. Cada una de ellas (solar, eólica, mini hidráulica, etc.) se debe instalar en el lugar que más eficientes sean, de alguna manera sería armonizar la energía propia de cada lugar con la forma de obtención de energía que usan las personas que habitan dichos lugares. Siempre pensé, y sigo pensando, que la energía solar es la que mas penetración tendrá finalmente. Creo esto porque la mayoría de los lugares del mundo reciben gran cantidad de energía solar a diario. Solo resta conseguir métodos más eficientes de transformación. Hoy en día estamos en porcentajes de eficiencia relativamente bajos, lo cual hace que la energía solar solo sea posible en aquellos lugares que reciben una cantidad de radiación solar inmensa.

Argentina, como en tantos otros aspectos, es un país rico en suministros de energía. Tiene ambientes aptos para todas las formas de energías renovables, desde mareo motriz, la energía eólica, y por su puesto la energía solar.

El país, debe abordar el tema energético con una visión a largo plazo en cuanto antes. Como muchas de las cuestiones importantes en la política argentina, estas se resuelven únicamente para salir del paso y no con una visión a largo plazo, en las que se marque un rumbo para la argentina de los próximos 50 años, generando reglas claras tanto para los argentinos como para cualquier otro ciudadano del mundo que piense invertir en el país.

Entre otras cosas la Argentina no tiene una política estratégica de Energías Renovables, tampoco de Energías en general, la cual es importante que se defina por dos cuestiones fundamentales. En primer lugar, para asegurar el abastecimiento de energía a la población argentina. En segundo lugar, tanto el mundo como la argentina debe de tomar conciencia de los problemas que trae el cambio climático que estamos generando.

La primera cuestión es clara y hace referencia a la dependencia de la matriz energética argentina del petróleo, y el abastecimiento de este. En la argentina

tanto las reservas de petróleo como de gas son bajas, en el 2007 se calculaba un horizonte de 12 años. Sumado a esto la exploración es prácticamente nula. La única razón por la cual la energía en Argentina tiene un precio accesible es porque las tarifas están congeladas, se subsidia al sector y no se invierte. Todo esto es una solución para el momento que tarde o temprano resultara un problema grave y resolverlo será muy difícil, ya que no se trata de cuestiones simples sino de una planificación y de inversiones a largo plazo.

La segunda cuestión casi no necesita explicación. De todas maneras es importante entender que el cambio climático va a suceder, cada vez con más fuerza, la única cuestión es cuando pasará esto. Hoy en día el 50% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero provienen del sector energético. El mundo toma cada vez más conciencia de esto y cada vez serán mayores los castigos que reciban quienes contaminen y mayores los beneficios que obtengan quienes logran una producción que no afecta al medio ambiente. Tomar este tema cuanto antes supone una ventaja competitiva para el país.

### *5.2-Marco legal actual para las Energías Renovables en Argentina*

En la Argentina se han dictado una serie de normas y leyes que de alguna manera muestran la intención de algunos políticos de abordar el tema. A continuación repasaremos la legislación vigente y su impacto real en la generación de energía.

El Congreso de la Nación ha sancionado varias leyes en los últimos años: la Ley 26.093 de Biocombustibles, la Ley 25.019 que establece un régimen de energía eólica y solar, la Ley 26.193 de promoción del hidrógeno y la Ley 26.190 de promoción del uso de energías renovables.

Proyecto de ley (Eppte.2248-D-2009) proponiendo adelantar corte obligatorio para biodiesel y eliminar la restricción de proveer cualquier tipo de biocombustibles al mercado interno y exportar al mismo tiempo.

### *5.3-Efecto real de la reglamentación actual en el sector*

A pesar de que la Argentina tiene leyes que contemplan el desarrollo de nuevas tecnologías renovables para la obtención de energía, el sector no avanza como se pretendía. Esto se debe a dos cuestiones. En primer lugar los plazos de las licitaciones que enuncia la ley no se cumplieron como corresponde. La reglamentación de la ley 26.190 de promoción de energía renovables (luego de años de demora) junto con el reciente anuncio de licitaciones por 1.000 MW podrían arrojar una luz de esperanza al, aunque me permito dudar sobre si realmente se llevarán a cabo y si se dispone del presupuesto necesario para ello.

Por otro lado la prima preestablecida en la ley 25.019 no alcanza para cubrir la brecha entre el precio spot y el costo medio total de generación eólico o solar y en la actual no se ponderan los beneficios ambientales de las diferentes tecnologías usadas).

#### *5.4-Beneficios Adicionales de una Política de Energías Renovables*

Además de alcanzar los dos objetivos básicos que mencionamos anteriormente, la implementación de una política orientada a las energías renovables traería otros beneficios, que si bien no son el fin de la cuestión, si representan un estímulo real para los políticos y demás personas que puedan tomar una decisión de este tipo. En primer lugar, el gobierno puede con medidas de bajo costo armar un programa de electrificación de colegios y salas de emergencia que no posean, debido a su ubicación geográfica la energía de la red. Además el hecho de fomentar una tecnología nueva generara muchos puestos de trabajo que son, en la argentina de hoy, muy necesarios.

En cuanto al primer punto, hay en la argentina un programa que esta haciendo llevando adelante estos objetivos, se trata del proyecto de energías renovables en mercados rurales, que desde el año 2000 se encuentra haciendo trabajos preparatorios en algunas provincias.

En cuanto a la generación de trabajo, podemos ver los resultados que trajo en los países con políticas de generación de energía verde, donde se han creado miles de puestos de trabajo. Además, debido a la técnica de estas tecnologías, se trata de un trabajo calificado, lo cual es mejor aun. Además de los trabajos directos que genera la industria, hay muchas otras industrias que se verán beneficiadas y que por lo tanto también serán una nueva fuente de trabajo, como se ve en la Figura 5.01.

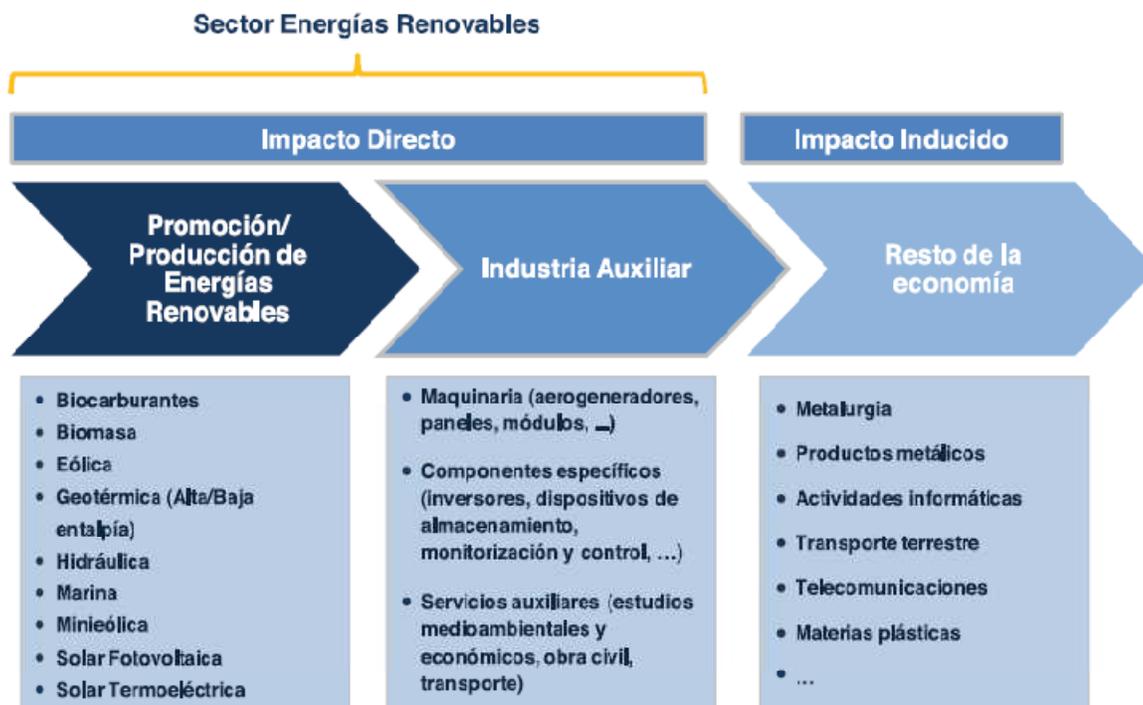


Figura 5.01 – Impacto de las inversiones en energías renovables.

Si tomamos la experiencia de los países que han logrado un desarrollo importante en la materia, podríamos calcular el impacto que tiene sobre el empleo la instalación de energías renovables.

Creo que lo más apropiado sería calcular los puestos de trabajo que se generan de acuerdo a la potencia que se instala, ver Tabla 5.01.

Tipo de Energía	Empleados / MW instalado
Solar Fotovoltaica	6,5
Solar Termoeléctrico	7,0
Eólico	0,7
Mini Hidráulico	4,0
Biomasa	7,1

Tabla 5.01 – Generación de empleo por MW instalado de energías verdes.

Entonces si tomamos como referencia el cuadro de arriba podremos estimar el impacto que tendrá una política de este tipo, de acuerdo a las metas que se establezcan y la potencia que se pueda lograr con métodos de generación no contaminantes.

### *5.5- Recomendaciones*

Creo que lo que primero le recomendaría a la Argentina de hoy es que establezca reglas de juego claras. Sin esto no se puede pensar en un país con futuro, y mucho menos en uno que lidere o este a la vanguardia de la generación de energía renovable.

En segundo lugar, se debe establecer una política, que integre todas las cuestiones y que represente una solución real. Formar un equipo, sin bandera política, que definan técnicamente lo necesario para poder llevar adelante el proyecto de energías renovables. Definiendo tarifas, metas financiaciones y demás incentivos que estén acorde a las inversiones necesarias.

En cuanto al tipo de proyecto o legislación, no creo que haga falta inventar nada, sino mas bien ver los casos exitosos que hay en el mundo y seguir su ejemplo. Tanto Alemania como España resultaron ser excelentes ejemplos, que merecen ser copiados. Además tanto el modelo alemán como el español dan al inversor una mayor previsibilidad, lo cual es importantísimo en argentina, ya que debe ser una de las barreras más grandes que tiene la inversión en el país.

Es importante entender que un proyecto así no tiene únicamente fines medio ambientales, sino que se trata de un proyecto amplio, que busca resolver un problema, las dos cuestiones fundamentales que mencionamos antes, sin perjudicar a nadie. Las primas que se tengan que pagar por esta energía, mientras su producción sea más cara que las formas actuales, se verá contrarrestada con otros ingresos que y beneficios propios de la apertura de una nueva industria.

Resulta interesante ver el caso de España, en el cual se analiza las primas pagadas al sector de generación renovable, y los beneficios que obtuvo en el mismo periodo. A continuación veremos un cuadro, Figura 5.02, que muestra esta situación:

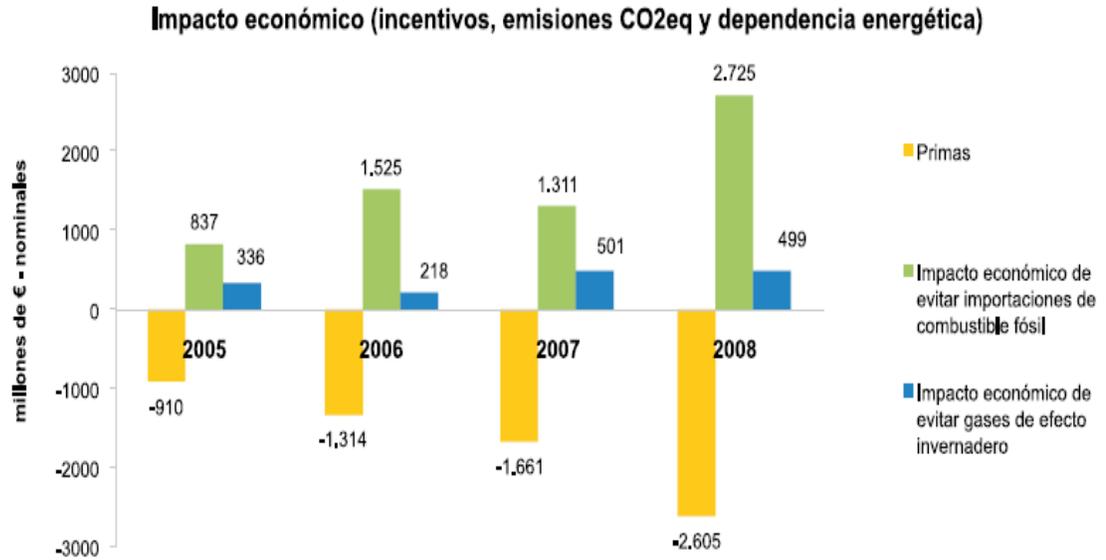


Figura 5.02 – Impacto económico de los incentivos en generación limpia.(8)

Esto último resulta clave para poder implementar cualquier medida de este tipo, donde no tenga que exponerse ningún político a asignar recursos a un sector habiendo otros en peores condiciones.

Creo que lo que lo único que hace falta es tener una firme convicción de que esto es un proyecto positivo para el país, y tener el espíritu de gestionarlo de la mejor manera, dando siempre la seguridad a quienes invierten.

(8) Fuente APPA/Deloitte.

## **BIBLIOGRAFIA**

### Libros

1. Antonio Luque y Steven Hegedus, 2003. "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering". Willey.
2. Lelic Rifat, 2008. Lección de Ingeniería Económica y Finanzas. Editorial Nueva Librería.
3. Castro, Dávila, y Colmenar, 2000. Sistemas fotovoltaicos conectados a red: estándares y condiciones técnicas. Editorial Progensa.

### Páginas Web

1. <http://www.argentinarenovables.org>
2. <http://www.enarsa.com.ar/>
3. <http://www.asades.org.ar/>
4. <http://www.wbgu.de/>
5. <http://www.cne.es/cne/Home>
6. <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/opte/htdocs/>
7. <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/energypower/>
8. <http://globalgreenchallenge.com.au>
9. <http://americansolarchallenge.org>
10. <http://www.petiteplanete.org/>
11. <http://www.concentrix-solar.de>
12. <http://www.bp.com/>
13. <http://www.grupounisolar.com/>
14. <http://www.avancis.de>
15. <http://www.firstsolar.com/>