



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA:

**PARCELA FOTOVOLTAICA DE 1,1 MW
CONECTADA A RED EN OUNAGHA**

Director: Manuel Casal Gómez-Caminero

Autor: Nasser Mrabet Zerrouk

Sevilla, Junio 2011



PROYECTO FIN DE CARRERA:

**PARCELA FOTOVOLTAICA DE 1,1 MW
CONECTADA A RED EN OUNAGHA**

INDICE GENERAL

Director: **Manuel Casal Gómez-Caminero**
Autor: **Nasser Mrabet Zerrouk**

Sevilla Junio 2011

--	--

1.	Índice
2.	Memoria justificativa.....
3.	Memoria descriptiva
4.	Memoria de calculo
5.	Planos
6.	Presupuesto
7.	Pliego de condiciones
8.	Estudio de seguridad y salud
9.	Catalogo.....
10.	Bibliografía



PROYECTO FIN DE CARRERA:

**PARCELA FOTOVOLTAICA DE 1,1 MW
CONECTADA A RED EN OUNAGHA**

1. MEMORIA JUSTIFICATIVA

Director: **Manuel Casal Gómez-Camín**
Autor: **Nasser Mrabet Zerrouk**

Sevilla Junio 2011

1. Índice

1.	Índice	1
2.	Resumen.....	1
3.	Introducción	3
3.1.	Motivación del proyecto	3
3.2.	Situación energética.....	4
3.3.	Alcance	9
4.	Tecnología fotovoltaica	10
4.1.	Introducción.....	10
4.2.	Historia	10
4.3.	Desarrollo de la energía solar fotovoltaica	12
4.3.1.	Introducción.....	12
4.3.2.	Potencia instalada.....	14
4.3.2.1.	Unión Europea.....	14
4.3.2.2.	Japón	16
4.3.2.3.	Estados Unidos.....	16
4.3.2.4.	China	17
4.3.2.5.	Los países en desarrollo.....	18
4.4.	Las políticas para los mercados de energías renovables	18

4.5.	Sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red	20
4.6.	La tecnología fotovoltaica	22
4.6.1.	La célula fotovoltaica.....	22
4.6.2.	El módulo fotovoltaico	24

2. Resumen

El presente proyecto tiene por objeto llevar a cabo el diseño y construcción de una parcela fotovoltaica con un total de 1 MW de potencia nominal y campo solar de potencia pico de 1,1 Mwp en Ounagha (Marruecos). La parcela esta dividida en 10 generadores fotovoltaicos idénticos de 100 KW, que ocupa una superficie solar de 782 m² y proporciona una potencia pico de 110.880 Kwp.

El proyecto es una iniciativa pionera por parte del ayuntamiento de Ounagha en colaboración con la ONE (red eléctrica de Marruecos), en un plan de desarrollo rural mediante energía renovable, que busca con la venta de la energía a la red eléctrica obtener unos beneficios que se utilizarán posteriormente para subvencionar la energía eléctrica consumida en el pueblo, tanto para uso domestico como industrial. Teniendo en cuenta que un precio más bajo de la energía eléctrica atraería al pueblo nuevas inversiones de empresas interesadas en minimizar los costes, obteniendo así nuevas fuentes de ingreso y un mayor movimiento de mercado, y evitaría la constante marcha de los habitantes de este pueblo a otras ciudades en busca de trabajo, gracias al aumento de la oferta.

La finalidad de la parcela fotovoltaica es generar el máximo de energía eléctrica con el objetivo de inyectarla a la red eléctrica y maximizar el beneficio económico por su venta, regulado en el Real Decreto 436/2004 en el que se establecen las condiciones de explotación para los productores de energía eléctrica en régimen especial. Además, esto permitirá la reducción de los gases de efecto invernadero. Tanto el diseño como la construcción de la parcela fotovoltaica se hará teniendo en cuenta las normas y reglamentos vigentes en España, dada la falta de normas o reglamentos que establezcan actualmente las condiciones de explotación de las energías renovables en Marruecos, por lo tanto el proyecto se hará íntegramente como si tuviera lugar en España, y con la normativa de ENDESA y REE aunque en el proyecto se mencione la distribuidora eléctrica de Marruecos ONE.

La energía que genera cada generador fotovoltaico de 100 Kw es en corriente continua que se transforma a corriente alterna a través de los 2 inversores integrados en la instalación y posteriormente se inyecta en la red de distribución. La conexión a la red eléctrica se realiza en alta tensión y la generación se realiza en baja tensión, el proyecto también incluye la construcción de un centro de transformación que permite esta conversión de baja tensión a alta tensión para posteriormente inyectarla a la red. El centro de transformación será propiedad de la distribuidora ONE.

La energía eléctrica que se evacua a la red tendrá una tarificación en baja tensión, evitando tener que correr con los gastos ocasionados por las pérdidas en el centro de transformación.

En el proyecto se diseñarán todos los elementos necesarios para la puesta en funcionamiento de la parcela fotovoltaica que abarca la configuración fotovoltaica, la instalación eléctrica, y la construcción de las edificaciones necesarias para su correcto funcionamiento. Por último, se realizará un estudio ambiental y económico que garantice la viabilidad económica y la sostenibilidad del proyecto.

3. Introducción

3.1. Motivación del proyecto

Actualmente, en el conjunto de países del área mediterránea existen alrededor de 10 millones de personas que no disponen de servicio eléctrico o que disponen de un servicio en condiciones muy precarias (pequeñas baterías o pequeños motores diesel que sólo funcionan unas horas al día).

Esta problemática se concentra en áreas rurales que están alejadas de la red eléctrica, dificultando el desarrollo de la economía local y acentuando el fenómeno de éxodo rural hacia las grandes ciudades. Al contar con un sistema de microrred y brindando los conocimientos prácticos a todos aquellos que de una manera u otra puedan estar vinculados a este tipo de generación eléctrica, será posible fomentar la actividad económica y se mejoran las condiciones de vida de las comunidades.

Marruecos dispone de grandes áreas en la región del Sahara, meseta del Atlas y zona costera de Tánger y Tetuán que cuentan con un gran potencial solar. El 30% del territorio recibe anualmente más de 2.000 Kwh/m. Estas condiciones privilegiadas, unidas a que la situación energética de Marruecos es deficitaria en un 15,1% de energía eléctrica, lo que compromete la competitividad del tejido productivo y del crecimiento económico nacional, hacen que Marruecos sea un destino a considerar para la expansión de diversas empresas relacionadas con la energía renovable.

Actualmente, no existe un marco regulatorio relacionado con el sector de las energías renovables, sin embargo, el Estado está desarrollando mecanismos de apoyo para promotores e inversores de este mercado y ventajas financieras y fiscales para proyectos que mejoren la eficiencia energética y el desarrollo de la utilización de energías renovables.

El Centro de Desarrollo de las Energías es la Agencia Operacional encargada de la política nacional en energías renovables y eficiencia energética pretende la generalización del acceso a la energía, el control del consumo energético y la preservación del medio ambiente mediante la aplicación del Plan Nacional de Eficiencia Energética. Para ello se va a llevar a cabo la diversificación de las fuentes energéticas utilizadas, mediante el Plan Nacional de las Energías Renovables, con el objetivo de que supongan un 20% del total de la energía eléctrica producida en el año 2012. Además se ha puesto en marcha el Plan Nacional de Acciones Prioritarias en el sector de la Energía, donde se recoge la electrificación rural de 10.000 pueblos.

En la actualidad el Programa Chourouk tiene como objetivo impulsar la energía solar fotovoltaica en el medio urbano para consumo doméstico entre 2009 y 2013, evacuando el excedente sobre la red nacional y elevando la potencia

instalada entre 100 y 150 MW. Se hará sobre 200.000 hogares que podrán optar a financiaciones ventajosas y contrato de compra de electricidad con la ONE.

Para facilitar y estimular la inversión de empresas relacionadas con las energías renovables y la eficiencia energética se ha previsto la creación de una zona industrial en Oujda. Los proyectos de ley de apertura del sector eléctrico nacional, hoy monopolio de la Office Nacional d'Electricité (ONE), y de regularización del mercado de las energías renovables permitirán aumentar la producción de electricidad, reducir los precios de las tarifas eléctricas e incrementar la seguridad de aprovisionamiento. Esto eliminará una de las principales barreras del sector, incentivando la inversión extranjera y aumentando el número de oportunidades de negocio existentes en este mercado.

3.2. Situación energética

En Marruecos existe desde años un aumento incesable en el consumo energético. Este consumo Pasó entre los años 1980 y 2005 de 4,69 MTep (Millones de toneladas equivalentes de petróleo) a 12,25 MTep, registrando un aumento de 261,2%. Sin embargo el consumo de energía por habitante es menor si lo comparamos con algunos países del Mediterráneo. En Marruecos la media de consumo de energía individual se sitúa alrededor de 0,4 Tep por año.

El balance energético marroquí se caracteriza por el dominio del uso de los recursos no renovables para satisfacer las necesidades energéticas de la población. Si consideramos la energía hidráulica como recurso de energía renovable, nos encontramos que la contribución de las fuentes convencionales de energía se estimó en 96% en 2005, frente a 91,5% en 1980.

En las siguientes graficas vemos los datos del consumo energético del país en el año 1980 que fue de 4,69 MTep, del año 2005 = 12,25 MTep:

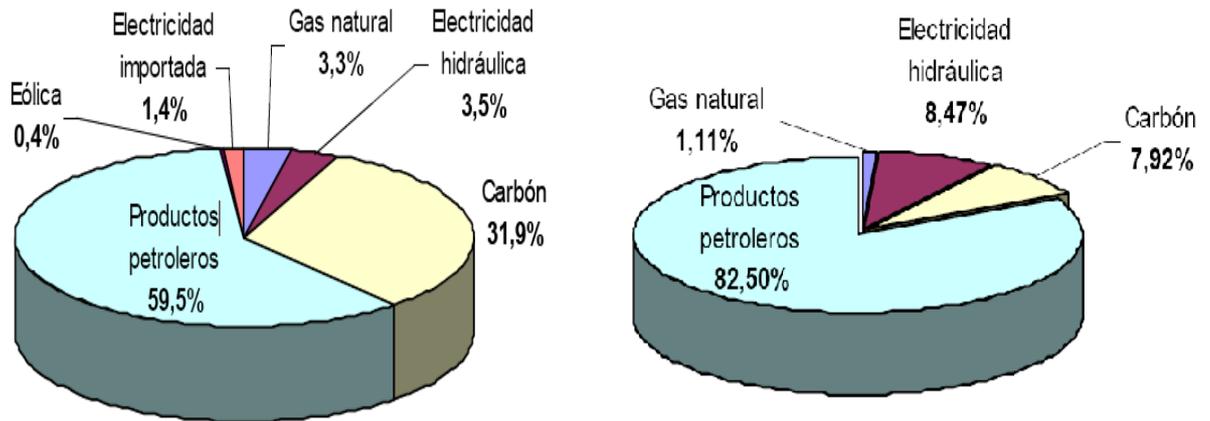


Figura 4: Balance energético marroquí en los años 1980 y 2005

Por otro lado, el sector de energía vivía durante los 25 últimos años, y sigue viviendo una cierta reestructuración. La contribución del petróleo y de la electricidad hidráulica disminuyó, mientras que el uso del carbón y el gas natural aumentaron. En los últimos años se aprecia la generación de electricidad por tecnologías alternativas y la importación de electricidad de países vecinos.

En cuanto al petróleo, la contribución de los productos petrolíferos disminuyó entre los años 1980 y 2003, pasando de 82,5% a 61% del total del balance energético. Sin embargo, en el mismo periodo, la cantidad consumida de hidrocarburos aumentó, pasando de 3.869 KTep a 6.680 KTep.

Al contrario, el carbón registró cierto desarrollo en cuanto a su contribución al balance energético y al valor absoluto consumido. De una contribución generalmente de poca importancia antes de los años 80 del siglo pasado, el carbón se ha convertido en una fuente energética vital en Marruecos, por lo que después de las crisis de los años 70, el precio del carbón, producido localmente, puede competir con el petróleo. El consumo del carbón en 2003 llegó a 3.440 KTep, representando más de 9 veces su uso en el año 1980 (371 KTep).

La contribución del gas natural se desarrolló pasando de 1,11% del balance global, en 1980, a 3,3%, en 2005. En términos de cantidades, el uso del gas natural se multiplicó 8 veces en el mismo periodo (404 KTep, frente a 52 KTep). Dicho aumento se explica por el intento del país en la utilización recursos energéticos limpios, además del paso de la canalización Magreb-Europa por el territorio marroquí. Se prevé que el papel del gas sea más importante en el futuro.

La electricidad hidráulica tuvo un desarrollo notable a nivel de instalaciones. La potencia instalada entre los años 1972 y 2003 aumentó de 362,5 MW a 1327,5 MW. Sin embargo, la energía generada entre los años 1980 y 2003 se quedó casi estable, alrededor de 400 Ktep.

Para satisfacer sus necesidades, Marruecos recurrió al uso de las energías renovables y la importación de los países vecinos (España y Argelia). El aporte de estas dos fuentes es todavía pequeño pero se prevé que será importante en el futuro, sobre todo la energía limpia después del lanzamiento de proyectos de construcción de nuevas infraestructuras.

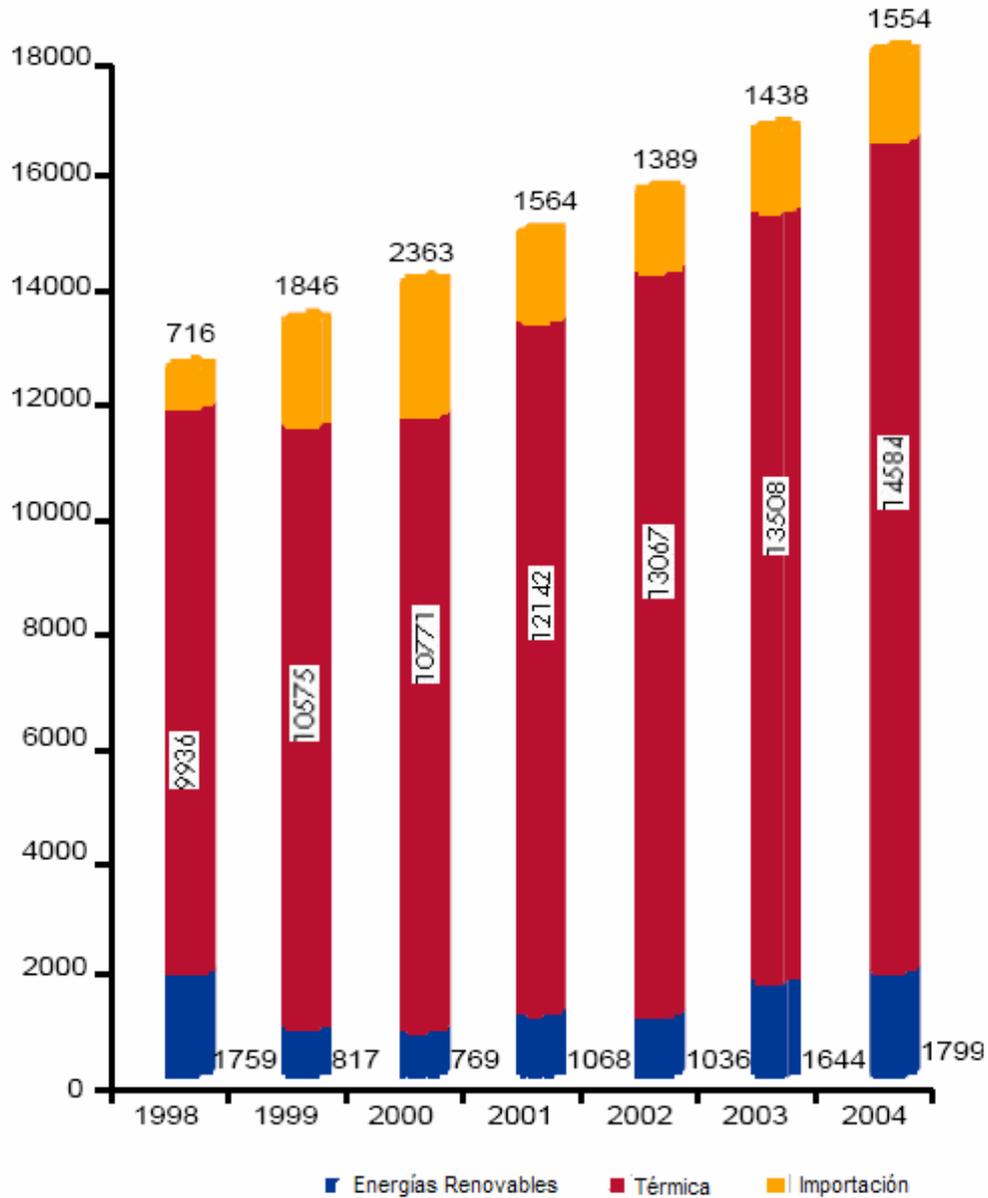
En resumen, los recursos energéticos de Marruecos son limitados y la producción es insuficiente para cubrir la creciente demanda. Actualmente, el país importa casi la totalidad de sus necesidades de petróleo bruto, la mayor parte del gas líquido, sobre todo butano, un suplemento en algunos otros productos derivados del petróleo, como el gasóleo, y una parte de su electricidad. Merece destacar que, después del agotamiento de la mina de Jerrada, Marruecos se vio obligado a importar del extranjero todas sus necesidades de carbón.

De manera general, la dependencia del sector energético marroquí del extranjero se acentúa cada vez más, pasando del 73% a 96% entre los años 1970 y 2005.

La demanda de energía eléctrica experimentó una media de crecimiento anual del 7% entre los años 1980 y 2004, pasó de 4.460 GWh a 16.288 GWh.

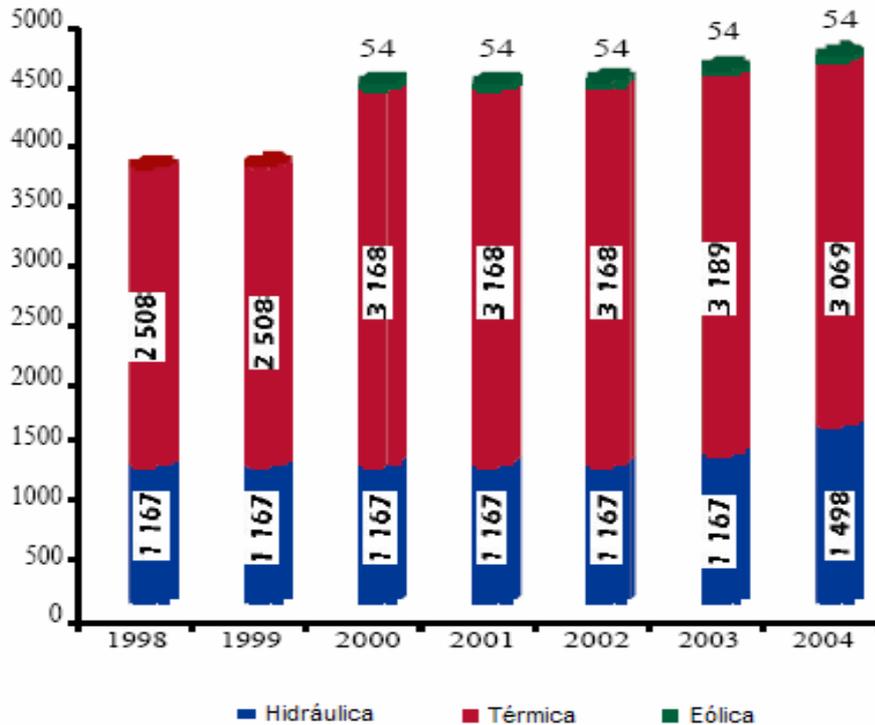
Las principales causas del disparo del consumo de electricidad en Marruecos fueron la expansión de las ciudades, el desarrollo dinámico de los sectores productivos y la aceleración del ritmo del Programa de Electrificación Rural Global (PERG).

Para responder a estas necesidades, la Oficina Nacional de Electricidad lanzó muchas iniciativas que se tradujeron en la inversión de 6.000 millones de Dhs anuales (casi 600 millones de euros) en equipamientos de producción, en la realización de interconexiones con las redes de Argelia y España y en la implicación de inversores extranjeros, como el caso del parque eólico del Abdelkhalek Torres y las centrales Térmicas de Ljorf Lasfer. Estos esfuerzos pusieron fin a los problemas encontrados durante los años 80, cuando era necesario ampliar la red de distribución por cuestiones de déficit de producción.



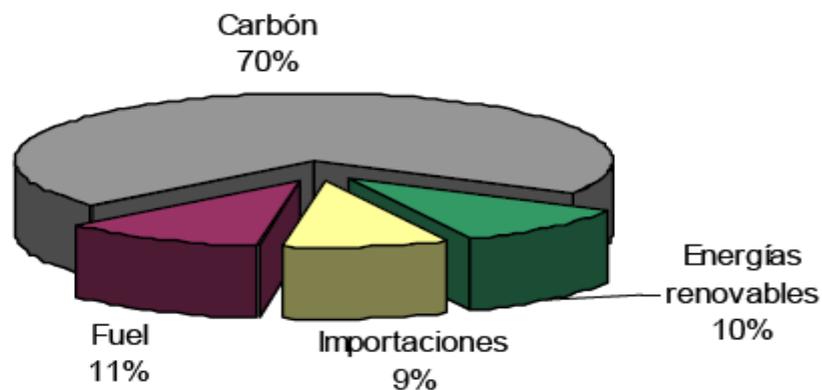
Grafica 6: Desarrollo de la demanda de electricidad en Marruecos

Para seguir el desarrollo de la demanda, la Oficina Nacional de Electricidad, organismo encargado de producción, transporte y distribución de electricidad en todo Marruecos, aumentó la potencia de producción para mantenerla a 4.621 MW en 2004, después de haber estado a 3.775 MW, en 1998.

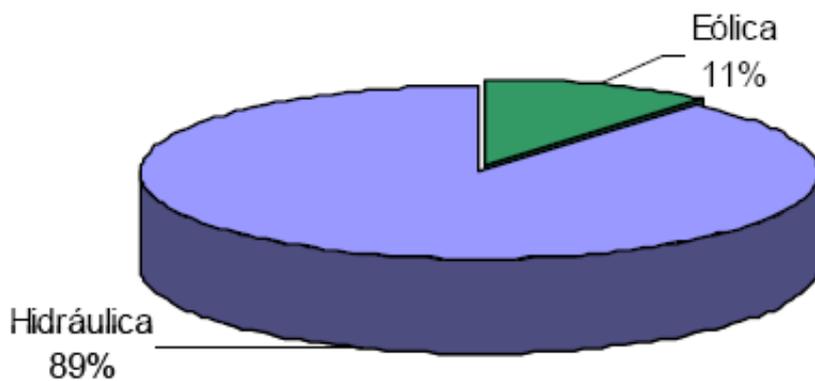


Grafica 7: Desarrollo de la potencia instalada para producir electricidad en Marruecos

La contribución de fuentes renovables para producir energía es mínima, a pesar de que la primera fuente de generación de electricidad apareciera en el 1960. En 2004, los recursos renovables representan sólo el 10% del total de las fuentes de producción de electricidad. Merece la pena destacar, que dentro de las fuentes renovables, la dominante es la hidráulica. El parque eólico del Koudia Al Baida contribuye con 54 MW.



Grafica 8: Fuentes de energía eléctrica en Marruecos



Grafica 9: Reparto de la producción de origen renovable

La opción de impulsar el uso de las energías renovables se tomó para reducir la dependencia del sector del extranjero, en particular, en petróleo y carbón. El Centro de Desarrollo de las Energías Renovables (CDER) se creó en 1982 con una misión científica y promocional más que de realización de proyectos, reservándose esta parte para iniciativas de empresas privadas y/o públicas especializadas.

Las energías renovables que parecen tener el mayor potencial de desarrollo son la eólica, que según las zonas contabilizadas podrían producir 6000 MW, y la solar, cuya radiación se estima en 5 Kwh/m²/día.

3.3. Alcance

Se realiza un estudio para diseñar el parque solar fotovoltaico en el pueblo de Ounagha, así como el análisis de viabilidad técnico-económico, constituido desde los paneles fotovoltaicos hasta su conexión a red eléctrica. La dimensión de 100 kW corresponde al Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y al Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, por el que se establece la tarificación de energía eléctrica producida mediante tecnología solar fotovoltaica correspondientes a instalaciones inferiores o iguales a 100 kW de suministro para el año 2009.

La ejecución y puesta en marcha de la instalación fotovoltaica no forma parte del alcance del proyecto.

4. Tecnología fotovoltaica

4.1. Introducción

Aunque existen muchas alternativas energéticas, algunas de ellas no han sido aún suficientemente utilizadas, bien por limitaciones técnicas o económicas, y otras apenas se han desarrollado o lo han hecho sólo parcialmente. De hecho la mayor parte de la energía se obtiene a partir de los llamados combustibles fósiles, compuestos principalmente por el petróleo y sus derivados (gasolinas, gasoil, keroseno, fuel oil, etc.), el gas natural y el carbón.

Si bien, al comienzo de su explotación, estos recursos se consideraban ilimitados y de impacto ambiental era despreciable, actualmente estas consideraciones han cambiado radicalmente, principalmente debido a que el aumento de la demanda energética se produce con tal intensidad, que cada vez resulta más difícil encontrar y explotar yacimientos de éstos combustibles.

Además el consumo masivo de hidrocarburos está produciendo alteraciones medioambientales a nivel mundial, como resultado de las emisiones que dan a día de hoy. Así, son los causantes de la denominada lluvia ácida, que deriva en grandes daños al suelo, y en consecuencia a la flora y fauna. Y en las grandes ciudades también se producen efectos indeseables, nocivos y molestos, debidos a la combinación de las emisiones de gases de combustión con algunos otros fenómenos naturales, tales como el smog o concentraciones excesivamente elevadas de componentes indeseables en la atmósfera.

No hay que olvidar que la disponibilidad de recursos energéticos es uno de los factores más importantes en el desarrollo tecnológico de las naciones, es por ello que es importante no sólo la prospección de nuevos yacimientos sino también el estudio de alternativas energéticas que favorezcan la diversidad y mejora de la explotación de los recursos naturales. Ello cobra un especial interés en aquellos países en que los recursos naturales son insuficientes y, por tanto, son energéticamente dependientes del exterior.

4.2. Historia

El término fotovoltaico proviene del griego phos, que significa "luz" y voltaico, que proviene de la electricidad, en honor al científico italiano Alejandro Volta, (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de Medidas). El término fotovoltaico comenzó a usarse en Inglaterra desde el año 1849. El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construye hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quién recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de solo un 1%. Russel Ohl patentó la célula solar moderna en el año

1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles. La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el Año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Lles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics. La primera nave espacial que uso paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard, lanzado en Marzo de 1958.

Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares. EN 1970 La primera célula solar con etéreo estructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrollo en la extinguida URRS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition). No se desarrollo hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio.

La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AMO (Air Mass Zero) del 17% fue la norteamericana ASEC (Applied solar Energy Corporation), La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del Ga As sobre los sustratos de Ga As a Ga As sobre sustratos de germanio. El dopaje accidental de germanio (Ge) con GaAs como capa amortiguadora creó circuitos de voltaje abiertos, demostrando el potencial del uso de los sustratos de germanio como otras celdas. Una celda de uniones simples de Ga As llego al 19% de eficiencia AMO en 1993.

ASEC desarrolló la primera celda de doble unión para las naves espaciales usadas en EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente. Estas celdas no usan el germanio como segunda celda, pero usan una celda basada en GaAs con diferentes tipos de dopaje. De manera excepcional, las células de doble unión de GaAs pueden llegar a producir eficiencias AMO del orden del 22%. Las uniones triples comienzan con eficiencias del orden del 24% en el

2000, 26% en el 2002, 28% en el 2005, y han llegado, de manera corriente al 30% en el 2007. En 2007, dos compañías norteamericanas Emcore Photovoltaics y Spectrolab, producen el 95% de las células solares del 28% de eficiencia.

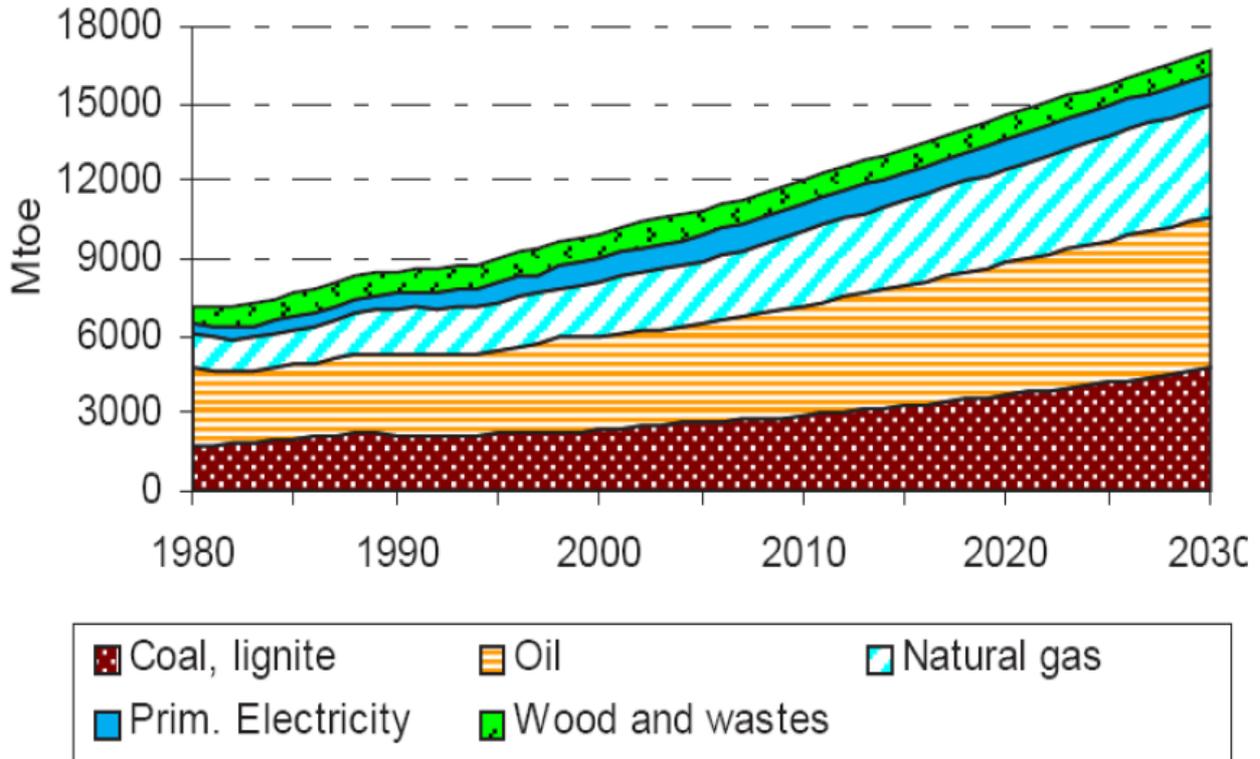
4.3. Desarrollo de la energía solar fotovoltaica

4.3.1. Introducción

El desarrollo global de esta tecnología ha alcanzado unos ritmos de crecimiento del orden del 40%. Aún con este crecimiento, la contribución actual de la energía eléctrica de carácter fotovoltaico para cubrir nuestras necesidades energéticas es ínfima y lo será los próximos años. Esta perseverancia nos llevaría a un futuro como puede ser el que vaticinan muchos modelos de entidades con reputación como la empresa de energía Shell, o como el que se muestra a continuación: el de los expertos designados el año 2003 por el Gobierno alemán para estudiar el cambio climático.

Parece prudente diversificar las opciones energéticas no desechando ninguna alternativa que demuestre su potencial. Con este principio, la energía solar fotovoltaica pide un sitio dentro de los esfuerzos globales para a cambiar o adaptar nuestro modelo energético, y lo pide porque su propia naturaleza la hace idónea para responder a los problemas medioambientales del modelo actual y porque el coste para apoyar su desarrollo es asumible, al ser, por ejemplo, una pequeñísima parte del coste de las catástrofes debidas al cambio climático (el director de los programas medioambientales de las Naciones Unidas y ex-ministro alemán de Medio ambiente Klaus Töpfer estimó, en 100.000 millones de euros, el coste en el Año 2001, de los daños ocasionados por el cambio climático).

De la demanda energética mundial se puede decir que se sigue aumentando a todos los niveles. Históricamente, la incorporación de nuevas energías primarias no supuso, en general, la disminución en el consumo de las anteriores, que aunque redujeron sus porcentajes de consumo global, no así sus volúmenes absolutos. Entre los años 1971 y 2001, el consumo de energía a escala mundial aumento de unas 5510 Mtoe (millones de toneladas equivalentes de petróleo) a más de 10000, lo que supuso un aumento de entorno al ochenta por ciento en treinta años.



Grafica 6.1. Previsión de la energía primaria mundial consumida anualmente (Mtoe/a)

La Unión Europea, se marcó en el Libro Verde del año 2000 el objetivo de cubrir el 12% de la energía eléctrica producida, con energía renovable, con el fin de reducir las emisiones de CO₂ a los límites impuestos en el protocolo de Kyoto y de disminuir la dependencia energética del exterior.

En el sector fotovoltaico, la estrategia principal para cumplir los objetivos ha sido la de introducir unas tarifas de venta a red elevada, que en media son capaces de amortizar la energía vendida a red en un periodo de 10-12 años. Dicha estrategia se ha llevado a cabo en 15 de los 25 estados miembros. Otras estrategias han sido subvenciones iniciales o reducción de impuestos asociados. No obstante, solo unos pocos países están contribuyendo seriamente a alcanzar los 3 GW de potencia instalada fijados para 2010, tal y como se comentó en el apartado 3.1. Esto es también debido a que, incluso cuando las primas de venta a red son elevadas, a veces su periodo de validez es corto (Holanda solo tendrá tarifas de venta red durante 10 años después de su instalación) o los trámites administrativos son demasiado complejos.

En cuanto a los países líderes, ya se ha comentado, que son Alemania con mucha diferencia sobre el resto, y España. Junto a estos dos, los países que más parecen haber crecido son Italia y Francia.

4.3.2. Potencia instalada

4.3.2.1. Unión Europea

En 2007, había una potencia instalada de este tipo de energía en la Unión Europea de 4.689,5 MWp, lo que supuso un 49% más que el año anterior. El 94% de este aumento se concentró en Alemania y España, ambos países superaron el aumento de potencia de Japón y Estados Unidos que en 2007 se situó por debajo de los 300 MWp.

Alemania continúa siendo el país líder de energía fotovoltaica tanto a nivel europeo (con una cuota del 82%) como mundial, debido a la estabilidad legal que la regula, sobre todo en el sistema de incentivos. Desde agosto 2004, los distribuidores de electricidad están obligados a comprar la electricidad producida por las instalaciones fotovoltaicas.

En términos de potencia instalada, Alemania es el país líder con 1537 MW instalados a finales del 2005, con 743 MW instalados durante el transcurso de dicho año.

Detrás de este éxito está el compromiso de la coalición socialdemócrata-verde del gobierno alemán de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 21% para el periodo comprendido entre 1990 y 2008-11. Este objetivo se conseguirá mediante un cambio en la producción de energía hacia unas Fuentes más limpias y un programa de eficiencia energética. Dos piezas sucesivas de legislación han tenido una importancia crucial para en la consecución de del primero de estos objetivos: el “Programa de los 100.000 Tejados”, que se inició en 1999 y la Ley de Energías Renovables de 2000, actualizada en 2004.

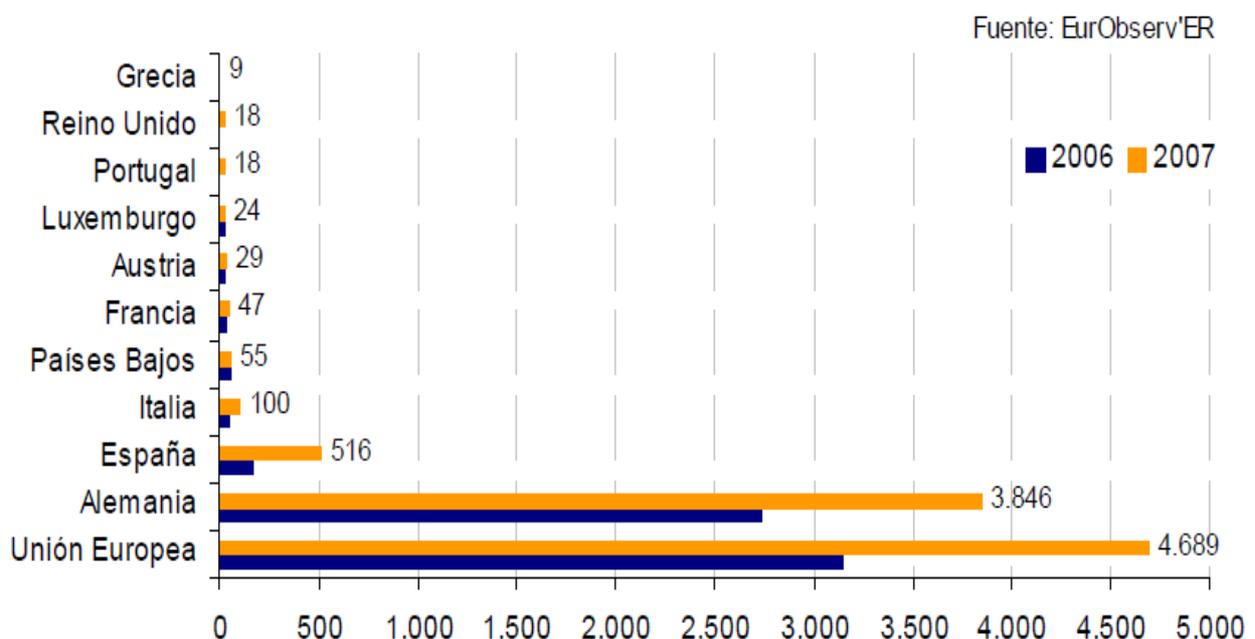
En 2007, la potencia de las instalaciones en España era de 634 MW, un 350% más que en 2006. En 2008 aumentó mucho la instalación de nuevas plantas: desde enero hasta agosto se han instalado los mismos megavatios de potencia que en todo el 2007.

El nuevo Real Decreto 1578/2008 pretende organizar el crecimiento de este tipo de energía e impulsar las instalaciones integradas en los edificios, que tiene una presencia muy reducida en nuestro país si la comparamos con otros de nuestro entorno. Así, las instalaciones sobre suelo representan aproximadamente el 65% del total, comparado con el 15,2% alemán; en ese país predominan las instalaciones en viviendas (42,7%) y comercios o industria (30,1%). En cuanto al tamaño de las instalaciones, un 87% tienen una potencia entre 5 KW y 100 KW, y el resto se distribuye a partes iguales entre las de menor y mayor tamaño, menos de 5 KW y más de 100 KW.

El reparto por Comunidades Autónomas no guardaba relación con los niveles de insolación; aunque en el último año la que posee mayor radiación solar ha incrementado de forma importante la potencia instalada. Destaca que en 2006 sólo Navarra tenía una potencia instalada superior a los 25 MW; sin embargo, el gran desarrollo de este tipo de energía que se ha producido en 2007 ha provocado que en este año haya 8 con una potencia superior. Llama la atención el crecimiento de Castilla-La-Mancha, que aumenta su potencia instalada en 140 MW y Valencia, Murcia y Extremadura que experimentan incrementos de aproximadamente 60 MW.

En Italia, en los seis meses posteriores a entrada en vigor de las tarifas de venta a red en Agosto 2005, se registraron solicitudes de acceso por un valor de 1.3 GW, más de dos veces lo que se había planificado por dicho país para 2012 (500 MW). Sin embargo, las instalaciones que realmente entraron en servicio sumaron un total de solo 80 MW durante el 2006.

Francia, por su parte, ha sido el último de los países miembros en introducir las tarifas (Julio 2006), aunque estas resultan bastante atractivas: 30 c€/kWh para huertas solares y 55 c€/kWh para instalaciones integradas en edificio. Además, el 50% de los costes de inversión son libres de impuesto y los costes de explotación tienen unos impuestos reducidos. Por último, mencionar que la disminución de las tarifas para nuevas instalaciones en un 5% por cada año que pasa se ha cancelado, como ocurre en España.



Grafica 6.2: Potencia instalada en la UE en MW en el año 2007

4.3.2.2. **Japón**

El segundo país con mayor potencia instalada es Japón con 1420 MW, que perdió el primer lugar que ocupaba en 2004, con el espectacular crecimiento alemán durante el 2005. Son muchos los motivos que han llevado a Japón a ser el país líder en cuanto a la producción y el segundo en cuanto a la demanda. Desde una política ventajosa de subvenciones y préstamos hasta una creciente aparición de fabricantes, pasando por una gran campaña publicitaria, tanto en televisión como en la práctica con la instalación de sistemas fotovoltaicos en muchos edificios públicos. Y a pesar de que Japón tiene un recurso solar entre 850 y 950 horas equivalentes y no representa por tanto una de las mejores zonas de radiación del planeta.

La potencia instalada acumulada que se espera que sea de 4.8 GW para 2010 y de 100 GW para 2030 y la reducción de los costes de los módulos, que debería ocurrir a medida que el producto se va estandarizando para alcanzar 50 yen/Wp, lo que se traduciría en un coste total de la instalación de 200 yen/Wp o 1.43 €/Wp, muy por debajo de los 6 €/Wp actuales.

4.3.2.3. **Estados Unidos**

Estados Unidos es uno de los países con mayor potencia fotovoltaica aislada actualmente, pero desde el 2005 la proporción de sistemas conectados a red es mayor que la de sistemas aislados gracias a la tasa de crecimiento de estos sistemas, que ha sido del 28% en los últimos años. Es también importante mencionar que el 90% de las instalaciones conectadas a red, a finales de 2005, estaban repartidas entre California y Nueva Yersey.

El gobierno americano ha contribuido de dos maneras al despegue de las conexiones fotovoltaicas a red. Por un lado, en agosto del 2005, se aprobó el incremento del presupuesto energético dedicado a energía solar (tanto térmica como fotovoltaica) de un 10 a un 30% por un periodo de dos años y por otro lado en agosto del año pasado, Schwarzenegger aprobó en el estado de California el "Million Solar Roofs Plan" que debe suponer una potencia instalada de 3 GW para el 2018, únicamente en el estado californiano.

A pesar de todo, Estados Unidos no ha apostado todavía de forma clara por la fotovoltaica, como lo demuestra su objetivo de 2.1 GW para 2010, algo inferior al objetivo europeo y menos de la mitad del objetivo japonés. Sin embargo sí esperan hacerlo a partir de 2015, mientras que ahora se centran principalmente en investigación y desarrollo, en la que invierten presupuestos anuales de 250 millones de dólares.

Dicha investigación se realiza principalmente en dos célebres laboratorios nacionales (SANDIA y NREL) y en las universidades y la investigación que más se está potenciando es la capa delgada, con que ha tenido en 2005 una cuota

de mercado del 40%, mucho más alta que la cuota a nivel mundial que fue del 8.75%.

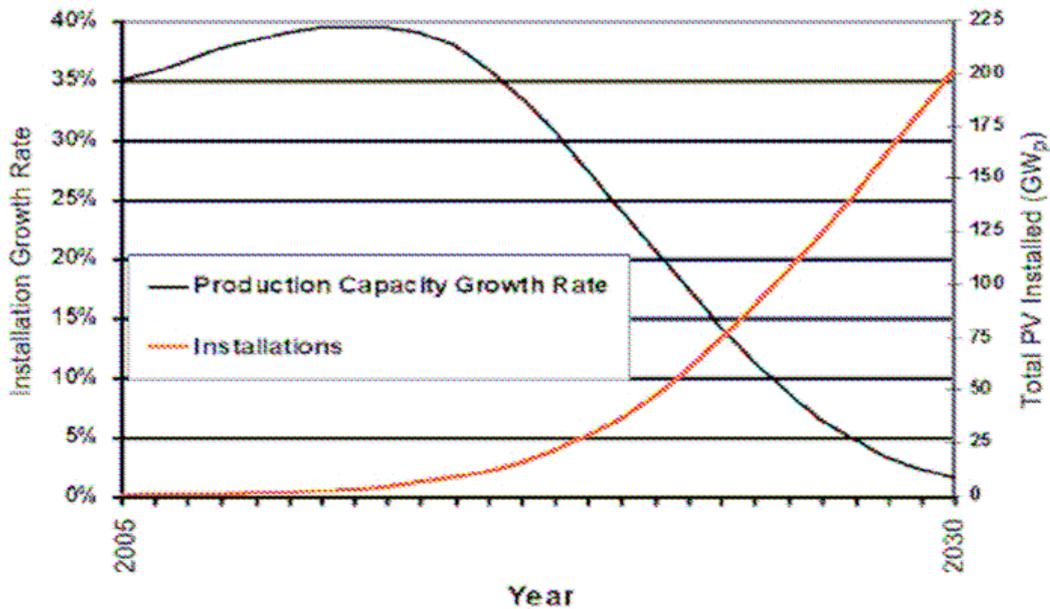


Figura 6.2: Tasa de crecimiento de la producción (negro) y potencia instalada (rojo) de USA entre 2005 y 2030

4.3.2.4. **China**

China, consciente de su gran población, ha tenido que tomar medidas energéticas muy serias con el fin de hacer frente a la creciente demanda, que se estima de 4200 TWh para 2020.

Según fuentes de su gobierno en el 2004, se espera una potencia instalada de renovables de 60 GW en el 2010, de los cuales 450 MW deben ser fotovoltaicos. Para 2020, la fotovoltaica instalada podría alcanzar los 8 GW, tal y como puede verse en la figura 29.

Además, China espera incrementar de forma considerable su número de fabricantes, así como la capacidad de producción de los mismos, tal y como ocurre en muchos otros sectores para convertirse en un claro exportador de la tecnología. De hecho, a finales del 2005 ya tenía un productor dentro del top-10 mundial.

Por último, destacar que China se ha marcado como objetivo una potencia instalada de 450 MW para 2010, con el fin de contribuir al 10% de renovables que intentan alcanzar ese mismo año.

Year	2000	2010	2020	2030
USA [GW]	0.14	2.1	36	200
Europe [GW]	0.15	3.0	41	200
Japan [GW]	0.25	4.8	30	205
World-wide DCP [GW]	1.00	8.6	125	920
World-wide AIP [GW]	1.00	14.0	200	1830

Tabla 6.1: Objetivos de potencia fotovoltaica instalada para 2010, 2020 y 2030

4.3.2.5. **Los países en desarrollo**

Debido a la falta de información respecto a los mercados fotovoltaicos en los países en desarrollo, es difícil describir el estado actual de la industria fotovoltaica en estas regiones. No obstante se estima que 156 MW fueron instalados en el resto del mundo en 2003 [PTR05].

El estado actual de la tecnología fotovoltaica en los países en desarrollo se caracteriza por un mercado rural aislado para sistemas aislados, financiado por bancos de desarrollo, agencias de cooperación nacional, y organizaciones multilaterales como el Banco Mundial, el Banco de Desarrollo Asiático, el Banco Interamericano de Desarrollo, la ONU, la UE, entre otros, a través de proyectos de cooperación y desarrollo. Esta situación ha creado un mercado imposible de predecir y demasiado dependiente de los proyectos de electrificación rural fotovoltaica. Sin embargo, una importante parte de los fondos está siendo empleada en eliminar las barreras para la diseminación de las energías renovables, promocionando de esta manera la creación de mercados rurales de energía fotovoltaica.

A día de hoy, no hay duda de que instituciones como la ONU y el Banco Mundial están elaborando un nuevo enfoque y están trabajando junto a los gobiernos nacionales en cómo combatir la pobreza e incrementar la calidad de vida. A través de iniciativas como los Objetivos del Milenio, la comunidad internacional está cambiando la cara de la cooperación y el desarrollo, y la tecnología fotovoltaica será una parte importante de ese proceso. India es un gran ejemplo en este sentido; ha sido capaz de promover un mercado rural fotovoltaico a la vez que desarrollaba su propia industria.

4.4. **Las políticas para los mercados de energías renovables**

Un futuro sostenible sólo podrá ser alcanzado si los mercados funcionan de forma efectiva y eficiente. De ello se deriva la importancia de contar con políticas y principios económicos sanos. A largo plazo, es esencial crear

igualdad de condiciones en el mercado energético, acabar con los subsidios e internalizar los costos externos.

Existen dos factores principales que distorsionan los mercados actuales en detrimento de las energías renovables:

- Los subsidios a las energías convencionales.
- La no consideración de los costos externos en los mercados, en especial en cuanto a su reflejo en los precios.

Se estima que los subsidios globales a las energías convencionales estimados en 200.000 millones de dólares anuales dificultan significativamente que las energías renovables alcancen una mayor participación de mercado y logren las necesarias economías de escala.

Los costos externos (incluidos el entorno, la salud, la seguridad y la regularidad del abastecimiento) son mucho mayores en el caso de las energías convencionales que en el de las renovables. La poca consideración de esos costos en los mercados atenta fuertemente contra las energías renovables. Simultáneamente, las energías renovables proporcionan beneficios que no se reflejan ni en las políticas energéticas ni en las condiciones de mercado, incluyendo un mayor empleo, la disminución de la dependencia de las importaciones y la reducción de las necesidades de divisas. Los mercados deberían ser corregidos para que reflejen íntegramente los costos y beneficios de todas las opciones energéticas, un proceso al que a menudo se llama "nivelar las condiciones de competencia".

También es indispensable un clima favorable a las energías renovables para afrontar los altos costos iniciales y distorsiones de mercado adicionales (como el déficit de información y la idea de que los riesgos son mayores). Si bien algunos países han acometido esas tareas, en la mayoría falta aún un marco de políticas que posibilite un avance de las energías renovables. El trazado de objetivos claros y metas generales ayudan a crear un marco propicio para las inversiones a largo plazo y proporcionan seguridad a las partes económicas interesadas. Se deben definir reglas, responsabilidades y papeles claros a todos los niveles de la cadena de abastecimiento energético que afecten a las energías renovables, a efectos de asegurar que los consumidores accedan a todos los beneficios y al mejor nivel de servicios que pueden proporcionar estas energías.

Por ello es esencial aplicar un mix apropiado y efectivo de instrumentos políticos a efectos de lograr las mejoras tecnológicas anticipadas y las reducciones de costos posibles a través del aprendizaje y la producción en masa.

Los obstáculos institucionales y las políticas actuales pueden limitar en gran medida las oportunidades de inversión en tecnologías de energías renovables. Por ejemplo, en muchos países, el desarrollo de las energías renovables está sujeto a numerosos y diversos procedimientos administrativos, leyes, regulaciones y políticas, que a menudo se contradicen entre sí.

Las recientes experiencias sugieren que la necesidad de regulaciones efectivas y amplias crece con la reestructura, la liberalización y la privatización del sector energético. Esas disposiciones son particularmente importantes para proteger a los grupos de población económicamente vulnerables y salvaguardar al entorno de los impactos negativos de las transformaciones del mercado.

Las políticas que promueven las energías renovables también impulsan el desarrollo industrial y la innovación, lo que a su vez puede acelerar el desarrollo y la transferencia de las respectivas tecnologías.

Las políticas y las regulaciones que promueven un acceso igualitario de las mujeres a los servicios energéticos, la educación, la tecnología y los instrumentos financieros son importantes para permitir a éstas tomar decisiones fundadas acerca de la energía. Cuestiones de gobierno, incluidos el respeto de los derechos de propiedad y el cumplimiento de los contratos, son también decisivas, al igual que las políticas y regulaciones nacionales e internacionales anticorrupción transparentes y efectivas.

4.5. Sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red

Dentro de las instalaciones fotovoltaicas debe destacar la existencia de dos clases de sistemas: aquellos que están conectados a la red y los que por el contrario son aislados.

En los sistemas fotovoltaicos conectados a red no se necesita un sistema de almacenamiento de energía. La energía que se produce es transportada directamente por las líneas de transporte a los centros de consumo.

Por el contrario, los sistemas fotovoltaicos aislados se caracterizan por su funcionamiento independiente de la red eléctrica. Son instalaciones habituales en lugares donde el acceso a la misma es difícil y es más económico hacer uso de una fuente fotovoltaica. Estos a su vez se clasifican en sistemas fotovoltaicos directos (sin acumulación) y sistemas fotovoltaicos con acumulación.

Los sistemas fotovoltaicos directos no poseen ningún subsistema de acumulación eléctrica. Son típicos en aplicaciones donde la disponibilidad de la energía no es algo determinante y el consumo se puede adaptar a los

momentos en que exista radiación solar. Son dispositivos de pequeña potencia como calculadoras, cargadores, etc. Así como sistemas de bombeo solar directo o aplicaciones espaciales como el vehículo de exploración de Marte.

Pero la gran mayoría de los sistemas autónomos requieren un sistema de acumulación mediante baterías, de forma que su funcionamiento no se vea alterado por la variabilidad de la radiación solar. La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas y del consumo de electricidad. El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta la demanda energética en los meses más desfavorables y las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación de los paneles, dependiendo del lugar de la instalación.

Los elementos básicos que constituyen este tipo de instalaciones aisladas son los siguientes:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía del sol en energía eléctrica y carga las baterías.
- **Regulador de carga:** controla la carga de las baterías para evitar que se originen sobrecargas o descargas excesivas que reducen la vida útil de las mismas. En esta parte es posible añadir un sistema de seguimiento del punto máximo de potencia.
- **Baterías:** acumulan la energía y cuando no hay generación solar proporcionan directamente la energía eléctrica.
- **Inversor:** transforma la corriente continua que generan los paneles en corriente alterna ya que la mayoría de electrodomésticos que se comercializan trabajan en alterna.

Las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados con baterías son numerosas: en instalaciones espaciales, telecomunicaciones, sistemas de señalización, de bombeo, zonas protegidas medioambientalmente, alumbrados de calles y carreteras, sistemas centralizado para poblaciones rurales aisladas, electrificación de viviendas aisladas, etc.

El mantenimiento requerido por estos dispositivos es mínimo siendo mayor el de las baterías, ya que los paneles solares tienen una vida de entre 20 y 30 años a lo largo de los cuales sólo necesitan un mínimo de limpieza para que su rendimiento sea máximo.

A la hora de realizar una instalación de este tipo se deben de tener en cuenta varios parámetros tales como la potencia pico del campo fotovoltaico, las corrientes máximas de entrada y salida del regulador y la potencia nominal del inversor, así como el dimensionado de los elementos de protección.

4.6. La tecnología fotovoltaica

4.6.1. La célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio. Al incidir la luz sobre el semiconductor de silicio, sus fotones suministran la energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres como cargas negativas. El lugar dejado por ausencia del electrón liberado se llama hueco y posee carga positiva.

Mediante la inclusión de impurezas en la estructura cristalina del silicio, que se denomina proceso de dopado, se obtiene silicio de dos tipos: tipo n, normalmente logrado con impurezas de fósforo, o tipo p, normalmente logrado con impurezas de boro. Se consigue un campo eléctrico dentro de las células mediante la unión de dos regiones de un cristal de silicio de distinto tipo o dopadas con distintas impurezas. Después de los procesos de fabricación, la célula presenta una superficie que rechaza aproximadamente el 30% de la radiación que pueda llegarle, por ello se crea una capa antirreflectante con un espesor determinado, generalmente mediante evaporación de un compuesto que se deposite sobre la superficie frontal de la oblea.

El proceso de producción de una célula fotovoltaica partiendo del wafer como materia prima, consta de las siguientes etapas:

- Control de calidad del wafer.
- Limpieza / texturización de los wafer en tanques químicos.
- Secado de proceso anterior.
- Aplicación de emulsión de fósforo e introducción al horno de difusión.
- Limpieza en húmedo del óxido producido en la difusión anterior.
- Aplicación de capa antirreflectante.
- Serigrafiado de cara trasera.
- Secado en horno de infrarrojos de cinta.
- Serigrafiado de pasta de plata en cara delantera.
- Secado de pasta en horno de infrarrojos de cinta.

- Control final de célula con medición unitaria de curva I-V.

El coste aproximado de una línea para 1 MWp es de unos 2 MM de EUR. Las operaciones previas para fabricar el wafer son la fusión del lingote de silicio y el corte en rodajas del lingote. La mayoría de los fabricantes compran los wafer y realizan únicamente el proceso definido anteriormente.

Los lingotes de silicio policristalino se funden en un prisma de base cuadrada y los de silicio monocristalino son de forma cilíndrica, por eso las células monocristalinas son pseudo cuadradas. La tecnología EFG (Ribbon / sheet c-Si) de ASE ahora RWE Solar consiste en que el silicio crece en un prisma octogonal, por tanto la célula ya sale con el espesor definitivo. En este caso no se necesita cortar en rodajas, solo se corta con láser los bordes de la célula para independizarla del prisma octogonal. Esto supone un ahorro de material y de tiempo de proceso considerable.

Otros materiales para la realización de las células solares son:

- Silicio Mono-cristalino: de rendimiento energético hasta 15 ÷ 17 %
- Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético hasta 12 ÷ 14 %
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %
- Otros materiales: Arseniuro de galio, di-seleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

Actualmente, el material más utilizado es el silicio mono-cristalino que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

Para poder recoger las cargas eléctricas que proporciona la célula una vez que incida la luz sobre ella, se insertan contactos eléctricos que recogerán las cargas que se liberen. El diseño del dibujo de estos contactos metálicos sobre la superficie de la célula es muy importante, ya que un número mayor de contactos capturarán mayor cantidad de electrones, pero la mayor superficie de contactos se obtendrá a costa de exponer menos superficie de silicio al sol, con lo que se tiene una menor iluminación sobre la superficie activa. Se debe tener en cuenta que estos contactos no son transparentes, suelen ser aleaciones de diversos metales como son la plata, titanio, paladio, cobre, aluminio, etc.

El proceso de fabricación presenta costes muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la fotovoltaica, que son inferiores a los necesarios en electrónica.

4.6.2. El módulo fotovoltaico

Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica: proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Después, son ensambladas de la manera adecuada para constituir una única estructura: los módulos fotovoltaicos.



Imagen 6.1: Algunos módulos fotovoltaicos presentes en el mercado

El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²) y constan normalmente de 36 células conectadas eléctricamente en serie.

Los módulos formados tienen una potencia que varía entre los 50Wp y los 150Wp, según el tipo y la eficiencia de las células que lo componen. Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- Potencia de Pico (Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar STC (Radiación solar = 1000 W/m²; Temperatura = 25 °C; A.M. = 1,5).

- Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran fiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.
- Módulos de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor.
- Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.