



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

## **La energía neta de los sistemas fotovoltaicos en España**

Autor: Pedro Antonio Prieto Pérez

Institución: Científicos por el Medio Ambiente (CiMA)

e-mail: [pappspain@terra.es](mailto:pappspain@terra.es)

Otros Autores: Charles A. S. Hall (profesor de la Universidad de Syracuse,  
Estado de New York)

## RESUMEN

Revisión sobre un Análisis de Ciclo de Vida (ACV o LCA, por sus siglas en inglés) hecho con gran detalle, sobre el conjunto de las plantas fotovoltaicas instaladas en España hasta finales de 2009. Se trata de analizar lo que también se ha dado en denominar el tiempo teórico de recuperación de la inversión energética en estas plantas (Energy Payback Time o EPBT, por sus siglas en inglés) y no sólo del económico, dado que las primas y ayudas desvirtúan el cálculo para saber si este tipo de energía podrá en algún momento hacerse con la sustitución gradual de los combustibles fósiles, cuando estos se vayan agotando o haya que sustituirlos por razones ambientales. El estudio es una visión mucho más amplia que los ACV actuales ya que incluye aspectos de inversión energética que otros estudios no consideran

## INTRODUCCIÓN

El ser humano ha vivido acostumbrado a una disponibilidad siempre creciente de combustibles fósiles, desde el comienzo de la era industrial. Algunos estudios estadísticos retrospectivos señalan que el consumo mundial de combustibles fósiles sobrepasó al consumo de biomasa en algún momento de la década de 1890 (Smil, 1994).

Por aquellas fechas, el mundo consumía energía fósil (carbón y muy poco petróleo) a un ritmo de unos 600 Gigavatios de potencia, mientras en 2005 el mundo utilizaba combustibles fósiles con una potencia equivalente de unos 12 Teravatios (unos 9.000 millones de toneladas de petróleo equivalente/año, n del t.), unas veinte veces más<sup>1</sup>.

Si reconocemos que los combustibles fósiles y fundamentalmente el petróleo están sujetos a agotamiento (Campbell, 1998, 2002, 2008), parece que es importante valorar, en primer lugar y cuanto antes mejor, cuando éstas alcanzarán sus respectivos picos o cenit de sus respectivas producciones mundiales absolutas.

Y en segundo lugar intentar averiguar cuáles podrían ser a partir de esos momentos, las tasas de declive más razonables, en función de las experiencias de más de 150 años de explotación y las tasas previsibles de agotamiento mundial, en base a las bien conocidas tasas de agotamientos de algunos grandes yacimientos o de los flujos energéticos declinantes conocidos de muchos países productores.

Los miembros de la Asociación para el Estudio del cenit del petróleo y del gas (ASPO, por sus siglas en inglés) creemos que la Humanidad ya se encuentra al borde del cenit o producción mundial máxima de petróleo; creemos asimismo que el gas seguirá el mismo camino con una o dos décadas de diferencia y que el carbón puede llegar también a su cenit particular de la producción mundial antes de la mitad del siglo actual.

Una vez alcanzados estos límites, las tasas de declive de los grandes yacimientos o de más de cincuenta países productores de petróleo que ya están en diferentes fases de declive, son bien conocidas. Estos declives productivos por agotamiento geológico varían entre un 2 y un 20 por ciento anual, con un promedio reconocido de un 6,7% anual que podría alcanzar el 9% anual si las inversiones en el sector no son lo suficientemente grandes (Biroi, 2008, 2009).

Según Vaclav Smil:

*Hablando como un científico que confía en los primeros principios (de la termodinámica), tengo que hacer hincapié en la escala extraordinaria de la transición que tenemos por delante: el cambio a energías no fósiles, es de un orden de magnitud superior al que se llevó a cabo en la transición de la biomasa a los combustibles fósiles, y sus peculiaridades acerca de la calidad de las mismas, harán esta transición aún más exigente; por tanto su ritmo puede que resulte ser mucho más lento de lo que generalmente se supone. Al mismo tiempo, sólo una de las muchas fuentes de energía renovable ofrece un*

*flujo que supere largamente cualquier necesidad previsible, por lo que el abanico de alternativas no es en absoluto todo lo prometedor como se ve por los ojos de los verdaderos creyentes (en estas energías)<sup>2</sup>*

Smil se refiere aquí a la energía solar como la única fuente capaz de sobrepasar cualquier necesidad previsible.

Una vez que los combustibles fósiles comiencen a disminuir sus flujos hacia la sociedad (en realidad el agotamiento de un recurso finito, comienza desde el primer día de la explotación organizada y masiva del mismo; es el flujo que se aporta a la sociedad lo que sólo disminuye a partir de la llegada al cenit de su producción mundial), lamentable y presumiblemente entre una y dos décadas a partir de este momento, la humanidad empezará a perder un flujo de energía, ahora disponible, de entre 250 y 750 millones de toneladas más, a cada año que pase. Esto será un flujo energético perdido de suficiente importancia como para centrarse de forma seria en las energías alternativas para el reemplazo de esta creciente pérdida, en tiempo y forma.

Por otro lado, están las amenazas de los cambios que la actividad humana puedan provocar sobre el clima y el posible calentamiento global de la atmósfera. De los 12.000 millones de toneladas de petróleo equivalente (Tpes), que la Humanidad consume cada año, unos 10.000 millones de Tpes son combustibles fósiles. Ellos son los responsables directos y fundamentales de la emisión de 30.000 millones de toneladas de carbono a la atmósfera.

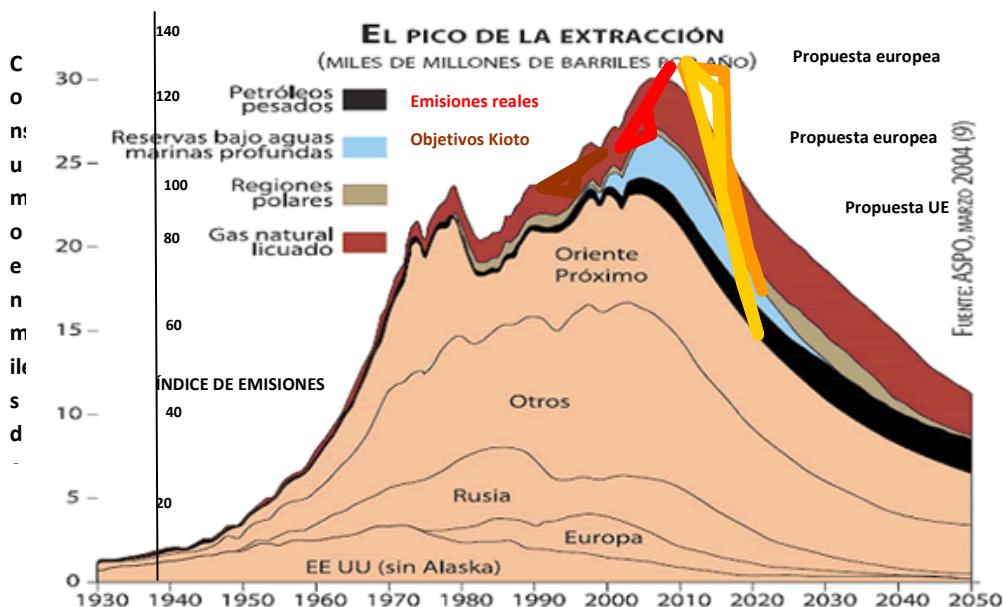


Figura 1. Analogías entre los supuestos más conocidos del PICC (IPCC) sobre propuestas de reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, solapadas sobre la visión de ASPO de la producción mundial de petróleo

Curiosamente, los científicos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático PICC (o IPCC por sus siglas en inglés) están realizando propuestas (Kioto, 1997; Bali, 2007; Copenhague, 2009) de reducción de emisiones, que implican o exigirían, para su cumplimiento en los próximos años, una reducción drástica de los consumos de combustibles fósiles justamente del nivel que en ASPO prevemos que puede ser el declive y la disminución de combustibles fósiles por razones de agotamiento puramente geológicas. Ver figura 1 arriba.

Por tanto, sea por razón del previsible agotamiento o bien por la necesidad de no envenenar y degradar más al planeta con estas combustiones.

Es por ello por lo que se analizan aquí los méritos de la energía solar como la fuente energética más adecuada para proyecciones a largo plazo en la perentoria necesidad de reemplazar a los combustibles fósiles. En concreto se analizará la energía solar fotovoltaica, dado que España es posiblemente, el mejor campo de pruebas en todo el mundo para este tipo de análisis.

Se trata del país más soleado de Europa y el segundo a nivel mundial en potencia instalada, sólo después de Alemania. Además, se puede estudiar muy bien la generación a lo largo de todo el año 2009 (un ciclo anual completo), año que fue de una excelente irradiancia anual.

También, porque el año 2009 apenas existieron nuevas instalaciones fotovoltaicas, por razones económicas, financieras y políticas y eso permite valorar con bastante precisión la energía generada en el conjunto nacional; algo mucho más difícil de hacer, cuando las estadísticas de producción y potencia instalada van variando significativamente a lo largo del año medido, dado que hay plantas que generan sólo parte del año y eso desvirtúa los cálculos generales, al no haber estadísticas fiables sobre sus niveles de producción.

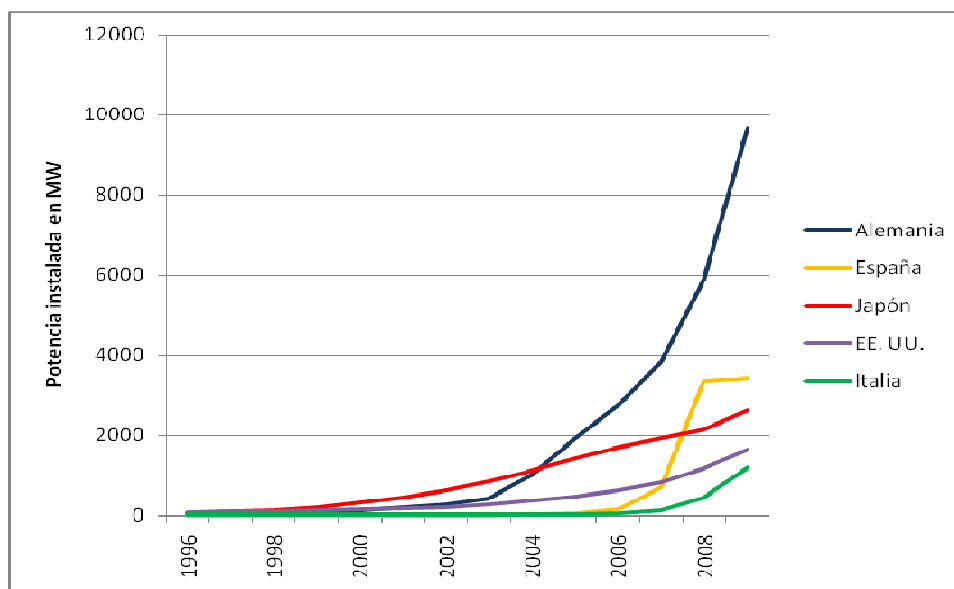


Figura 2. Fuente BP Statistical Yearbook 2010. Datos hasta 2009. Tomados a su vez de IEA Photovoltaic Power Systems Programme, EPIA, EurObserver y SolarBuzz.

Y finalmente, porque España ofrece la mejor, más completa y más fiable base de datos pública sobre instalaciones conectadas a red y energía generada, que proporciona regularmente la Comisión Nacional de Energía (CNE)<sup>3</sup>, datos que no se encuentran en ningún país avanzado en materia de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

Esto permite analizar un universo estadístico como hasta ahora no se había podido hacer en ningún estudio previo sobre rentabilidad, eficiencia, ciclo de vida o retorno de la inversión energética de estos sistemas, que hasta el momento se había circunscrito a muchos análisis, pero muy fragmentados, de tecnologías solares específicas en instalaciones muy limitadas en potencia y en latitudes seleccionadas previamente y controladas básicamente por los analizadores, en muchos casos parte interesada de la industria fotovoltaica o invitados por ella.

También analizar los resultados en el mundo real, con la verdadera mezcla real de tecnologías disponibles en un mercado abierto y muy competitivo y en todas las latitudes donde los inversores han considerado conveniente localizar sus instalaciones, se supone que en busca de la máxima eficiencia y rendimiento para sus inversiones.

Otra gran ventaja para este tipo de energías en España es que cuentan con la experiencia consolidada de Red Eléctrica Española (REE) como uno de los reguladores de redes eléctricas con más experiencia en el mundo en supervisión, planificación y gestión de red a la hora de insertar energías intermitentes, de generación de tipo estocástico, como son la eólica (también entre los países pioneros del mundo y tercero mundial en penetración de energía eólica en el total del mix eléctrico) o la solar, tanto fotovoltaica, como termoeléctrica.

REE ha tenido que experimentar como ningún otro regulador y gestor de red eléctrica la introducción en la red de energías de tipo intermitente, considerando que España funciona, desde el punto de vista eléctrico, como una isla, ya que intercambia menos del 3% de la energía eléctrica que produce y consume con otros países y eso hace que sea más difícil salvar los problemas de estabilidad de red a base de soltar excedentes o adquirir déficits de generación eléctrico hacia y de otros países vecinos, como puede ser el caso de Dinamarca.

## **LA IMPORTANCIA Y LA VARIABILIDAD DE LA ENERGÍA NETA**

En todo estudio de fuentes de energía, la clave está en verificar si la fuente proporciona una energía neta que sea lo suficientemente superior a la energía que ha y que gastar para obtenerla. Este concepto se basa en el ratio ER/EI (ER = energía recuperada para su uso en sociedad de un sistema o fuente de energía y EI = energía invertida para obtener la energía útil que queda a disposición de la sociedad). En inglés, Energy Return on Energy Invested (EROEI) y en castellano Tasa de Retorno Energético o TRE.<sup>4</sup>

Esto lo han hecho todos los seres vivos de forma muy automática, porque su propia existencia como individuos y sobre todo como especie, depende de que el entorno les ofrezca más energía que la que tienen que gastar para sobrevivir; de otra forma

morirían como individuos (se da con mucha frecuencia) o si es una relación crónica y estructural y no coyuntural, la especie en cuestión se extinguiría.

Que la biomasa ha ofrecido la suficiente energía neta a las sociedades primitivas, es tan obvio como que estamos aquí millones de especies viviendo de ella. Los niveles de excedente energético o energía neta resultante en ciertos contextos sociales primitivos, eran inferiores a los actuales, pero suficientes para garantizar niveles de supervivencia de especies, aunque no para desarrollar grandes transformaciones de la naturaleza con dichos excedentes energéticos.

Algunas muestras de civilizaciones antiguas puntuales muestran a través de sus construcciones que en ciertos periodos y con poblaciones limitadas, ciertas regiones ofrecían excedentes energéticos importantes: las pirámides y demás templos son muestras de este excedente en cierto nivel para poblaciones entonces muy limitadas.

También disponemos de ejemplos de cómo algunas sociedades primitivas, que vivían exclusivamente de la energía de la biomasa, con niveles excedentarios suficientes, terminaban colapsando (Joseph Tainter, 1988 *Collapse of Complex Societies*; Jared Diamond, *Collapse*, 1995), precisamente por degradar su base energética (recursos) del entorno accesible por exceso de crecimiento y de ver consecuentemente reducido su aporte neto de energía hasta extremos de hacer inviable a la sociedad.

Que los combustibles fósiles han sido capaces de permitir, hasta ahora, a la sociedad mundial un excedente energético sin precedentes, es algo que como la prueba del nueve, no necesita demostración. En los 150-200 años de desarrollo de una sociedad industrial, el mundo ha pasado de tener unos mil a siete mil millones de habitantes y sus consumos individuales promedio han subido de forma exponencial, sin precedentes en la historia, en cuanto a capacidad de transformación de la naturaleza, movilidad, variedad de actividades, etc.

El profesor de ciencias medioambientales de la Universidad del Estado de Nueva York en Syracuse, Charles A. S. Hall, que lleva décadas estudiando los aspectos económicos de la biofísica, y que es un reconocido experto mundial en este tipo de estudios, ofreció una panoplia de resultados de energía neta de diferentes fuentes en su intervención en 2008 en la Conferencia Internacional de ASPO en Barcelona<sup>5</sup>. Entre ellos, destaca el famoso Balloon Diagram, en el que se muestran algunos valores resultantes para este científico de las principales fuentes de energía y las variaciones más importantes en el tiempo.

El gráfico de la figura 2 abajo, muestra la evolución hacia una TRE más baja del petróleo estadounidense, que pasa de ofrecer tasas de 100 barriles a disposición de la sociedad, por cada barril consumido en obtenerlo, a unas tasas actuales de entre 10 y 20 veces.

Resultan interesantes los niveles de la fotosíntesis total actual, situada en unos 80 EJ y el nivel de consumo de los EE. UU: en 2005, que era de unos 100 EJ. No ya los bosques, sino toda la fotosíntesis sería suficiente para alimentar energéticamente al país en sus niveles de consumo actual.

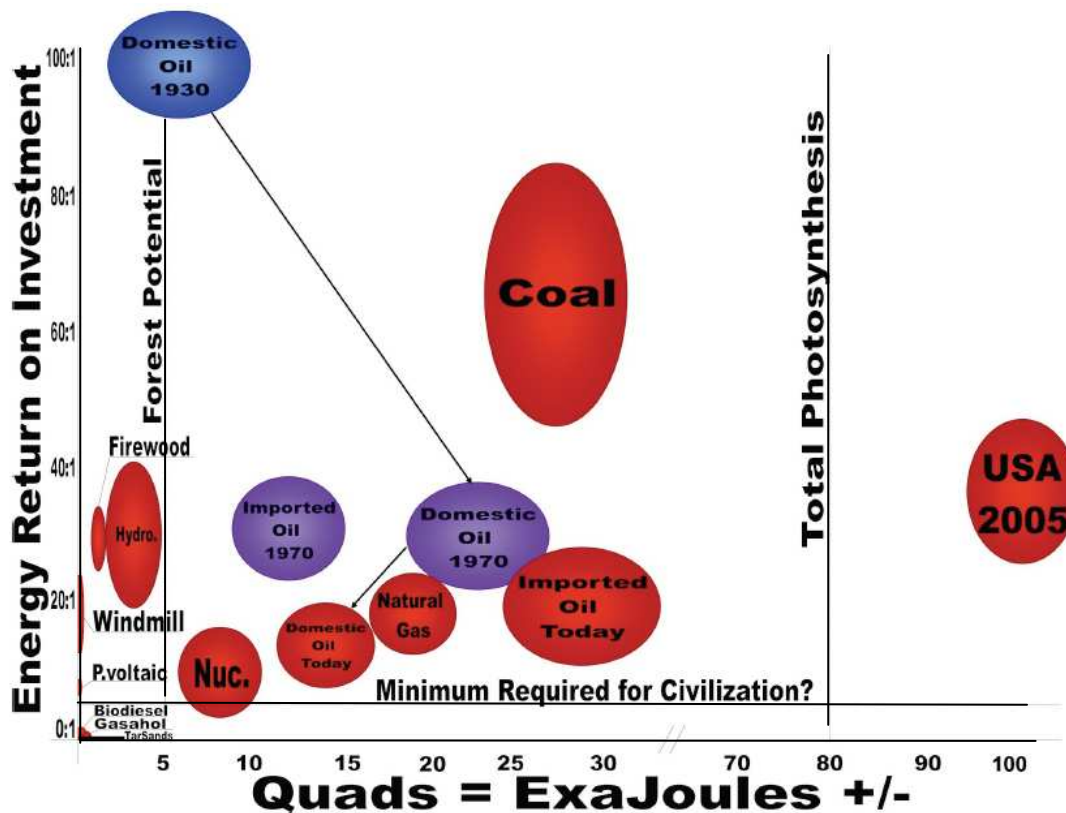


Figura 2. Diagrama de globos de Charles A. S. Hall respecto de los niveles de Tasa de Retorno Energético de las principales fuentes de energía. En el eje de abcisas el potencial energético. Los globos definen el volumen potencial de explotación. En el eje de ordenadas la Tasa de Retorno Energético (TRE o EROEI)

Con todo, lo más interesante es que fija un nivel mínimo para que se pueda dar una “civilización” (conceptos estos que habría que desarrollar más allá del ámbito de esta comunicación) de la Tasa de Retorno Energético en un nivel de 5 a 1. Es decir, si la TRE de un sistema social, vista en su promedio y globalidad, capta o llega a captar menos de 5 veces la energía que es capaz de poner a disposición de esa sociedad, seguramente no se dará esa sociedad, no será sostenible en el tiempo, o colapsará si se había creado con cotas más altas y luego decayó.

El estudio se centrará en analizar la energía neta que los sistemas solares fotovoltaicos españoles ofrecieron en 2009 en su conjunto y operando en el mundo real, no en laboratorios.

El estudio de la energía neta de cualquier nuevo sistema energético, es algo importante y debería formar parte de un principio de precaución básico, porque la nueva fuente de energía debe poder demostrar antes de realizar inversiones de altísimo alcance (no sólo económicas, sino sobre todo energéticas) que aseguren que la energía que se va a invertir en su fabricación, instalación, mantenimiento y el desmantelamiento, que últimamente también se cuida mucho, en un ejercicio muy ecológico para cerrar un ciclo de vida)



## METODOLOGÍA

Los numerosos estudios al uso que existen publicados sobre sistemas fotovoltaicos en general, utilizan dos formas clásicas para medir estas tasas de retorno y sus eficiencias en general.

### La TRE o EROEI

Una de ellas es analizar la Tasa de Retorno Energético o TRE ( *Energy Return on Energy Invested* o EROEI en inglés), en forma de los llamados “análisis de ciclo de vida” o ACV ( *Life Cycle Analysis* o LCA, por sus siglas en inglés), donde por un lado se estima la generación a lo largo de lo que se estima van a durar los sistemas en su vida útil y eso es la energía recuperada.

Por el otro, se calculan los costes energéticos que implica la manufactura de estos sistemas, su instalación y puesta en marcha y su mantenimiento y esa es la que se considera energía invertida. El cociente entre ambas, resulta un EROEI o TRE.

Esta parte de la energía invertida, resulta especialmente compleja, porque depende mucho de los enfoques que se den al coste energético del ciclo completo. Se podrían retrotraer al coste energético de la minería de los sofisticados y a veces raros materiales que componen los módulos fotovoltaicos, o incluir la energía que hay que gastar en los cimientos de una planta o en su vallado perimetral.

### El Tiempo de Recuperación de la Inversión Energética (TRIE) o Energy Pay-Back Time (EPBT)

Otra forma de ver el mismo asunto es analizar el tiempo que se necesita para recuperar la inversión energética hecha en un sistema que genera una cierta cantidad de energía. Es una función muy directa del EROEI o TRE; es una fórmula preferida por bastantes analistas, aunque el TRIE (EPBT) se puede derivar directamente de la TRE (EROEI) y viceversa.

Por ejemplo, dada una producción acordada  $X$  en un plazo acordado de vida útil operativa de generalmente 25 años (aunque hay analistas que empiezan a asegurar que se pueden poner 30 años de funcionamiento operativo de los sistemas fotovoltaicos), si el coste de la energía que se ha invertido en ese sistema por todos los conceptos incluidos en esa vida útil, es de por ejemplo,  $0,1 * X$ , entonces la TRE (EROEI) sería de 10 y el TRIE (EPBT) sería, suponiendo, por simplificar, que cada uno de los 25 años de vida útil se genera lo mismo, cada año se generaría  $X/25 = 0,04 * X$ , luego para que el sistema pueda generar toda la energía que se ha calculado se va a invertir en este sistema en los 25 años ( $0,1 * X$ ) se tardarían 2,5 años. Su TRIE (EPBT) sería, pues de 2,5 años. A partir de ahí, los analistas suponen una ganancia energética neta al sistema.

En un resumen realizado por Colin Bankier y Steven Gale y publicado por la Revista Energy Bulletin, titulado “Energy Pay-Back of Roof Mounted Photovoltaic cells”<sup>6</sup> se observa que la mayoría de los expertos en análisis de ciclo de vida de estos sistemas

y en Tiempos de Recuperación de la Inversión Energética (TRIE) o EPBT, resulta ser tan corto como 0,7 años para sistemas de alta concentración fotovoltaica (Peharz & Dimroth, 2005) hasta 5,1 años para un sistema de silicio monocristalino incluyendo el llamado “Balance of system”, una suerte de “todo lo demás”, aparte del módulo fotovoltaico (Raugei Bargigli & Ulgiati, 2005).

La mayoría de estos estudios son sobre una tecnología específica, en la que predominan los estudios de sistemas fijos de pequeña potencia individuales.

Algunos estudios del año 2000 al 2003 de sistemas de película delgada (Alsema, 2000 o Knapp & Jester, 2001, ya predecían recuperaciones de la inversión energética de 2,5 o 2 años, con lo que 10 años después, no se entiende muy bien, por qué los sistemas de película delgada siguen sin despegar en los mercados, teniendo un TRIE o EPBT tan tremendamente corto.

Lejos de desanimarse, estos mismos grandes expertos y otros vuelven a la carga con que los nuevos desarrollos de sistemas de alta concentración o los nuevos desarrollos de película delgada, pueden alcanzar TREs (EROEI's) de hasta 40. Esto es, para una vida útil de 25 años, una recuperación aproximada de la inversión energética de unos 7 meses y medio, sin que se sepa, por lo menos a nivel de grandes despliegues nacionales, que realmente estas tecnologías ofrecen estos fabulosos retornos de forma contrastada en la vida real.

Esta comunicación tiene por objeto precisamente prevenir contra este tipo de estudios, abrir un debate sobre la conveniencia de homogeneizar los procedimientos de medida de TREs y de TRIEs, antes de lanzarse a un despliegue masivo apoyado en importantes primas y subsidios dinerarios, que se supone, según la economía clásica (basada en la creencia que cuanto mayor la producción menor el coste –económico y energético- y que el aumento de la eficiencia no tiene fin, ni siquiera analizada desde un punto de vista holístico), que en algún momento ya no serán necesarios, porque se alcanzará la paridad con la red en cuanto a costes económicos. Y a asegurarse que los *inputs* energéticos requeridos para poner en marcha y mantener estos sistemas son todos los que realmente se requieren y que no quedan costes energéticos ocultos en la compleja maraña de una sociedad que consume y depende eminentemente de la energía fósil y en la que estos sistemas siguen todavía hoy, totalmente apuntalados.

### **Equivalencias económico-energéticas y equivalencias entre mano de obra y energía**

Con la energía que genera un sistema en un periodo de tiempo o a lo largo de la vida útil, sobre todo si es de tipo eléctrico, no suele haber gran discusión sobre la medida de la misma, porque los contadores eléctricos funcionan con suficiente precisión.

Las únicas discrepancias que pueden aparecer, son las relativas a las degradaciones de la producción de un sistema a lo largo del tiempo. En otras ocasiones, puede haber alguna discrepancia sobre las pérdidas que ese sistema de generación puede tener antes de quedar completamente y de forma neta a la sociedad. O sobre la credibilidad que puede ofrecer estimar una vida útil a tan largo plazo como el que se considera para equipos que necesariamente tienen que estar a la intemperie durante toda su vida útil.

También las diferentes calidades de los mantenimientos pueden crear alguna que otra dificultad de medida, pero por el concepto de energía generada, al final la electricidad generada resultante suele ser bastante bien medible.

Sin embargo, en una sociedad compleja, como la española o la de los países desarrollados, uno de los problemas más comunes, a la hora de calcular la energía que hay que invertir para poner un sistema de generación en marcha y tenerlo mantenido, es el de valorar energéticamente los múltiples factores que están muy interrelacionados con estos sistemas. La mayoría de los datos disponibles se ofrecen en unidades dinerarias, en valores económicos. Algún otro coste energético de crear, instalar y mantener un sistema de generación, se ofrecen en esfuerzo laboral, en mano de obra, más o menos cualificada.

En este sentido, ni siquiera grandes expertos en el estudio de la ecología de los ecosistemas y en la valoración de sus contenidos energéticos, como Howard T. Odum, un zoólogo de reconocido prestigio internacional, que publicó trabajos pioneros y de gran valor sobre economía o ingeniería ecológica o modelización de sistemas ecológicos, pudo escapar a realizar equivalencias energético-dinerarias. Odum no se dejaba engañar fácilmente por la, muchas veces inasible, variabilidad del valor monetario en el tiempo, respecto de los bienes físicos y sus contenidos energéticos. Uno de sus últimos estudios en su etapa final sobre un sistema fotovoltaico en Austin incluía estas equivalencias. No le dio tiempo a más.

Aquí, en el campo de las modernas energías renovables en general y de al energía solar fotovoltaica en particular, las metodologías más comúnmente utilizadas, difieren o pueden diferir considerablemente, aunque se puede observar una tendencia a simplificar y a reducir al máximo posible estas equivalencias.

Se abren así varias posibilidades a explorar.

Un sistema que parecería lógico para valorar un equivalente energético-dinerario de los costes energéticos que han permitido y permiten la construcción y operación de plantas fotovoltaicas, sería tomar una muestra lo suficientemente amplia (por ejemplo, el caso de España). España tuvo en 2008 un consumo energético total de 142,07 millones de Toneladas de petróleo equivalente (Tpes) de energía primaria, que se correspondieron con una actividad económica en el mismo año de 806.340 millones de Euros.<sup>7</sup>

Aún reconociendo que el PIB no es la mejor de las formas de medir la actividad de un país o menos aún la de la riqueza real o todavía menos la del nivel de vida o calidad de vida de un país, sí se aprecia a lo largo del tiempo en la mayoría de los países, una correspondencia o correlación directa entre la actividad económica y el consumo energético.

La relación anterior supone una relación en España en 2008 de 176 Tpes por cada millón de Euros de actividad.

Si se utiliza la correspondencia de 1 Tpe = 12 MWh obtendríamos un equivalente de

**1 Millón de Euros de actividad económica ↔ 2.112 MWh (2008)**

**(1)**

Puesto en otro equivalente energético, si se considera que 1 Tpe = 42 Gigajulios (GJ), esto resultaría en 1 Millón de Euros = 176 Tpes\*42 GJ/Tpe = 7.392 GJ; luego 1 Euro = 7,39 MJ, que está bastante en línea con los cálculos de equivalencia económico-energética de (Herendeen, 2005) para la industria pesada en EE. UU. de 1 US\$ = 14 MJ. Y si se considera, a grandes rasgos, que el consumo de energía per capita en EE. UU. viene a ser el doble que el de España, aunque los cambios de moneda y sus manipulaciones empiecen ya a ser factores de distorsión de difícil manejo.

Algunas de ellas, consideran el coste energético de la mano de obra incorporada en los sistemas fotovoltaicos, por ejemplo, partiendo de la energía metabólica de un ser humano, lo que es manifiestamente insuficiente, ya que estos trabajadores, no consumen en su quehacer la energía de un hombre primitivo.

En este tipo de equivalencia *mano de obra-energía que representa*, parece mucho más razonable atender a la siguiente premisa:

Si España tuvo en 2008 un consumo energético total de 142,07 millones de Toneladas de petróleo equivalente (Tpes) de energía primaria (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) y contaba en ese año con 46.063.511 habitantes, de los que 19.857.000 eran trabajadores "ocupados"; es decir, activos, descontando los parados, puede atribuirse a cada trabajador español activo en promedio, un consumo de 7,15 Tpe por trabajador ocupado y año, que consume obviamente él y el entorno que hace posible su trabajo y su vida.

Volviendo a las unidades de medida eléctricas equivalentes, si 1 Tpe = 12 MWh, tenemos que

**1 trabajador ocupado en España ↔ 86 MWh (2008)**

**(2)**

**Factores a considerar en la energía generada o recuperada de un sistema (Eout)**

Estos factores están bastante bien tabulados; existe un consenso bastante amplio de las pérdidas que se pueden dar en un sistema, partiendo de la energía que nominalmente y viene a ser los siguientes:

<b>Pérdidas típicas de energía consideradas en una tabla típica de Tasa de Rendimiento (Performance Ratio o PR)</b>	<b>Factor de pérdida en %</b>
Desajustes entre módulos	0,6 -1,0
Polvo	2,0- 8,0
Pérdidas angulares y espectrales	1.0
Incumplimiento de la potencia mínima	0.5
Pérdidas debidas a temperatura	4,5-8.0
Sombreados	0.5-3,0

Punto de seguimiento de máxima potencia (MPPT)	0,8-1.5
Pérdidas de cableado en continua	1.0
Pérdidas del inversor en conversión AC/DC	5 - 7.4
Pérdidas de cableado en alterna (dentro de la planta FV)	0.4 – 1
Pérdidas en media tensión (dentro de la planta FV)	0,2- 2.1
Huecos de tensión, sobretensiones, microcortes, etc..	0,2 -1,0
<b>Performance Ratio</b>	<b>84-65</b>

*Cuadro 1. Pérdidas típicas de un Performance Ratio o Tasa de Rendimiento de una planta fotovoltaica sobre suelo para inyección en red.*

El mundo comercial y financiero aceptaba en 2008 y sin problemas, sistemas fotovoltaicos completos en sus relaciones contractuales con fabricantes y promotores en España del orden de un 80% de Tasa de Rendimiento (Performance Ratio). En el mundo real, se están viendo muchas instalaciones con tasas de rendimiento aún menores.

Esto es, desde la potencia nominal supuestamente instalada en placas hasta la salida de la planta FV, hay una pérdida reconocida de la energía estimada de aproximadamente un 20% respecto de lo que en una latitud precisa y con una irradiación conocida se podría generar en un año.

Claro que esto, como se ve por los factores implicados, puede estar sujeto a oscilaciones más hacia un menor rendimiento que hacia uno mayor. Una Tasa de Rendimiento (TR) muy aceptable para un promotor fotovoltaico podría estar en torno al 82%. Sin embargo, un mal mantenimiento, o una construcción deficiente con cableados de baja calidad, conexiones mal hecho o no repasado periódicamente, distribuciones largas o falta de limpieza o ubicación en lugares muy polvorientos, puede dar lugar a Tasas de Rendimiento, por los conceptos antes mencionados, bastante inferiores al 75%.

De todas formas, el caso de España permite obviar estos factores y extraer la energía fotovoltaica realmente generada en todo un ciclo anual (año 2009), sin género de dudas, del amplio universo de la potencia instalada (3,546 MW nominales -MWn-) que fue, según los datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE)<sup>8</sup> del orden de los 6.018 GWh. Por tanto, se puede decir, para un muestrario tan amplio de instalaciones como hasta ahora no se había hecho en ningún estudio, de ningún país del mundo que

**3.546 MWn generaron 6.018 GWh (2009)**

**(3)**

Que también se podría decir de esta forma:

**La energía fotovoltaica generó 1.697 MWh por MWn instalado (2009)**

**(4)**

Esto es lo que realmente CNE verificó que se había generado en la suma de todos los contadores de baja tensión de las más de 51.000 instalaciones fotovoltaicas

individuales, en todas las latitudes posibles de España, por la libre decisión de los promotores, ejercida en un mundo real, con todas las tecnologías fotovoltaicas y sistemas de seguimiento reales, las más actualizadas del momento y que los promotores pudieron adquirir en un mercado libre, siempre pensando en los mejores rendimientos (en este caso, generalmente económicos, pero al ser la facturación proporcional a la generación, con un interés bastante obvio en que el ratio entre inversión y ganancia por generación fuese el mínimo posible).

Este dato resume mejor que cualquier otro, la experiencia real de 51.000 instalaciones FV en todos y cada uno de los factores arriba señalados.

Pero si se entra en un mayor detalle, se pueden apreciar otras pérdidas que los sistemas convencionales de análisis de la Tasa de Rendimiento (TR o PR en inglés) no suelen contabilizar, y que no llegan a entrar en la red y quedar al servicio de la sociedad. Son las siguientes:

<b>Producción de energía eléctrica solar fotovoltaica constatable CNE en MWh/año/MWn (incluye todos los factores de la PR)</b>	<b>1.697</b>
<b>Otras pérdidas típicas de energía más allá de los PR convencionales (Factores ampliados del PR)</b>	
Considerando Potencia pico instalada respecto de la nominal	1.571
Considerando Pérdidas en la línea de evacuación/puntos de acceso y conexión/transformadores	1.540
Considerando Degradación de módulos a los largo del tiempo s/especificaciones	<b>1.364</b>

*Cuadro 2. Pérdidas típicas de una planta fotovoltaica sobre suelo y parta inyección en red, más allá de los contadores de baja tensión y previas a la entrega de energía neta a la sociedad*

En primer lugar, los datos que publica CNE están basados en potencias nominales de las instalaciones fotovoltaicas. Como se sabe bien, la inmensa mayoría de las instalaciones, especialmente las grandes, han instalado potencia pico mucho mayores que las potencias nominales adjudicadas (generalmente plantas de 100 kW, máximo legal para adquirir la tarifa más privilegiada, aunque luego estuviesen agrupadas físicamente en plantas de mayor capacidad).

La razón era precisamente que lo que se pensaba iba a medirse como garantía de cumplimiento de la potencia, era la que se obtenía a la salida del inversor. Así, se han instalado muchas plantas de 100 kW nominales (kWn) con hasta 130 kW pico (kWp), que a efectos de analizar la energía neta que puede entregar un sistema FV, son los que hay que analizar. Aquí se considerará que el promedio nacional instalado es de 108 kWp por cada 100 kWn contabilizados por CNE.

En segundo lugar, hay más pérdidas a la salida de la plantas FV, antes de que la energía generada pueda entrar en la red y ser puesta al servicio de la sociedad. La energía que mide la CNE es, de forma generalizada, en los contadores de baja tensión (después de los inversores y antes de subir esas tensiones de los 400 VAC a los 13-15-20 kV de media tensión). Según la propia normativa aceptada, los descuentos que pueden aplicar las distribuidoras a los productores en régimen especial, por las pérdidas en el tramo entre los contadores de baja tensión y el de media tensión son de

hasta un 3%. Además están las pérdidas de las líneas de evacuación, ya en media tensión, hechas específicamente para conectar las plantas a la red existente. Aquí se adoptará un criterio conservador de un 2% de pérdidas.

Y finalmente, si el cálculo de la vida útil es a 25 años, hay que incorporar la menor generación (una suerte de pérdida evidente sobre la potencia pico especificada por el fabricante) por degradación de los módulos con el paso del tiempo. Esta suele ser para casi todos los módulos, de un 20% en los primeros 20 años. Aquí se considerará un factor de 0,886 a 25 años promediado por año.

El resultado final es que la energía que realmente entregó el conjunto de las instalaciones fotovoltaicas con todas las tecnologías y en todas las latitudes, a la red española, en el año 2009, fue de 1.364 kWh/kWp. Esto resulta ser bastante inferior a la mayoría de las estimaciones teóricas que se han hecho en prácticamente todos los estudios de TRE/EROEI o bien de TRIE/EPBT, así como las estimaciones que realizan la mayoría de los productores y promotores en sus cálculos. Y sobre todo, considerando que el parque español instalado contiene una importante cantidad de sistemas con seguidores a dos ejes y a un eje, cuya generación estimada se supone mucho mayor que la finalmente resultante en las estadísticas públicas de CNE.

También es cierto que hay instalaciones que se han hecho en lugares de no muy elevada irradiación, pero esa es la verdadera vida real, con un ciclo anual de observación contrastada y sobre una base como nunca hasta ahora había podido experimentarse; mucho más real que la de los laboratorios, porque al fin y al cabo, son los promotores los que deciden las ubicaciones. En este aspecto, conviene considerar que Alemania tiene mucha más potencia instalada que España, teniendo mucha menos irradiación promedio que España (alrededor de un 30%)

Obviamente, a los promotores y productores no les interesan las pérdidas más allá del punto donde se toman las medidas (contadores de baja) para su propia facturación.

Por tanto:

**Energía solar FV útil generada en España (2009): 1.364 kWh/kWp instalada.**  
.5)

Considerando que en España en el 2009 había un 63% de plantas fotovoltaicas fijas, un 13% de plantas con seguidores a un eje y un 24% de plantas con seguidores a dos ejes, la realidad final de la energía NETA de origen fotovoltaico entregada de forma útil a la sociedad ha estado por debajo de los niveles barajados en las teorías al uso, que siempre van a lugares soleados del país, cuando en la realidad, las instalaciones no siempre se ubican en los lugares más apropiados para la irradiación solar, sino a veces donde manda el capricho o la oportunidad.

### **Factores a considerar de la energía invertida para que un sistema energético entregue la energía esperada (Ein o Energía Invertida)**

La energía invertida para concebir, diseñar, fabricar, transportar, instalar, mantener e incluso desmontar finalmente un sistema fotovoltaico son mucho más complejas, pero también España goza de un gran acervo para poder realizar estimaciones que hasta

ahora no se venían haciendo o quedaban circunscritas a análisis de la energía invertida en los módulos fotovoltaicos y sus contenidos inmediatos, con una simple extensión de los valores energéticos, en algún caso, a lo que llaman “Balance of System” que según el estudio en cuestión, incluyen energías supuestas de estructuras metálicas, cimientos, cableado inversores y poco más.

En este estudio se han considerado factores energéticos de tipo social; es decir factores generalmente ignorados en los estudios convencionales de TRE’s y en los TRIEs (EPBT’s), que suelen ser el coste energético del silicio, de la energía de convertir este silicio en los lingotes purificados y obleas, la energía de hacer las células con sus dopantes y serigrafías, el laminado, el montaje y cableado del módulo y por ejemplo el inversor y cierto coste supuesto de reciclaje (Raugei, diciembre 2009)<sup>9</sup>

En este caso, veremos el asunto de forma más “holística” o general, de más amplio espectro, intentando incluir costes energéticos que suelen permanecer ocultos y que sin ellos, y sin la sociedad actual con sus costes energéticos y su forma de actuar, los sistemas fotovoltaicos no serían posibles.

Los analistas convencionales suelen huir de esta aproximación, porque consideran que cae fuera del ámbito de sus intereses. Otros, que si la energía social de algunas actividades relacionadas indirectamente con el sector fotovoltaico, no se invirtiese en este sector, se consumiría igualmente en otra actividad. Esto no parece racional, en una visión general, que pretenda analizar la energía solar fotovoltaica desde el papel que se le supone tiene que tener en el futuro de fuente energética masiva y alternativa a las energías fósiles en volumen y versatilidad.

Estos analistas convencionales suelen denominar a este tipo de consideraciones de costes energéticos adicionales “Extended EROEI” (esto es, una TRE ampliada). Precisamente de eso se trata. Dicen que incluyen “wider boundaries” (áreas de costes energéticos indirectos más extendidos). Precisamente de eso se trata.

Una lista de las actividades que suponen gasto energético en el proceso de poner los sistemas fotovoltaicos operativos y mantenerlos en el tiempo, es la siguiente:

<b>Costes energéticos derivados de actividades típicas de un sistema fotovoltaico</b>
Coste energético de fabricar e instalar módulos, inversores, seguidores e infraestructuras metálicas (mano de obra excluida)
Costes energéticos de las tareas de Operación y Mantenimiento (O&M)
Coste energético de accesos, cimientos, canalizaciones, vallados perimetrales, etc.)
Costes energéticos del transporte. Desde el fabricante local, hasta desde China
Costes energéticos de red de media y alta. Reestructuración y estabilización de red
Coste energético de la seguridad y vigilancia
Coste energético de comunicaciones, control remoto y gestión de planta
Coste energético de renovar módulos, inversores, seguidores o componentes defectuosos



Coste energético del lavado de módulos
Coste energético de ferias, exhibiciones, promociones, conferencias, etc.
Costes energéticos asociados a mano de obra circunstancial: consultores, notarios, registro, Colegios de Ingenieros, funcionarios asignados al sector, etc.
Autoconsumo de las plantas fotovoltaicas
Coste energético del alquiler o compra del terreno
Coste energético de los derechos de paso
Costes energéticos de preinscripción, avales, etc.
Costes energéticos asociados a la inyección de cargas intermitentes en una red necesariamente estable
Costes energéticos de bombeo inverso y otros sistemas de almacenamiento masivo (aire o gas presurizado) exigibles como “potencia firme de respaldo”
Costes energéticos asociados de estabilización actual (ciclos combinados)
Coste energético de los seguros de las plantas FV
Costes energéticos de la administración de plantas FV
Coste energético del robo de equipos y vandalismo
Costes energéticos de causas de fuerza mayor: (tormentas, vendavales, inundaciones, granizo, etc.)
Costes energéticos autonómicos y municipales por tasas e impuestos sobre licencias y permisos
Coste energético de amortizaciones prematuras de equipos de fabricación y otros equipos por obsolescencia acelerada
Costes energéticos de los desmantelamientos al final del ciclo de vida o del desguace de plantas FV
<b>Total de energía invertida</b>

*Cuadro 3. Factores de coste energético en la actividad solar fotovoltaica en España para instalaciones sobre suelo y de inyección en red*

Todo el que haya trabajado en el sector, deberá reconocer, que todas estas actividades son imprescindibles para que las plantas puedan instalarse y funcionar en nuestra sociedad. Y que todas ellas, como toda actividad humana implica un cierto consumo energético.

Luego, se podrá discrepar sobre si cada una de ellas tiene un contenido energético de mayor o menor envergadura; se podrá argüir que muchas de ellas son insignificantes o despreciables, desde el punto de vista energético. Se podrá sugerir que algunas de ellas se podrían reducir considerablemente o incluso eliminar, desde un punto de vista legal, administrativo o de mejora de eficiencia.

Sobre todas y cada una de ellas los que trabajan en el sector son muy conscientes de los tiempos, los esfuerzos y el coste (al menos económico) que supone cada una de ellas.

De algunas de ellas resulta posible hacer cálculos directamente energéticos, como por ejemplo, el coste energético de todo el ciclo del transporte para todos los MW instalados en España; o del coste energético de hacer los accesos a las plantas, las

cimentaciones, las canalizaciones o los vallados perimetrales; el autoconsumo de las plantas (mucho menor en las plantas fijas que en las que llevan seguidores y del que habría que descontar el que ya se descuenta por ley en los contadores digitales de baja tensión bidireccionales).

En otras, hay una constancia bastante precisa de los costes económicos incurridos en llevar a cabo estas actividades. Y una forma que parece razonable de realizar el cálculo del coste energético, es utilizar las **Equivalencias económico-energéticas (1)** arriba detalladas, que aquí se consideran conservadoras, porque aplican un baremo o promedio nacional, cuando el sector fotovoltaico está, presumiblemente, por encima de la media en intensidad de consumo energético por millón de Euros de actividad.

Además, está el consumo energético de la mano de obra del sector fotovoltaico. En este campo, los defensores de las energías renovables en general y de la fotovoltaica en particular, caen en una trampa particularmente curiosa: por un lado, les puede el prurito de anunciar con orgullo que el sector fotovoltaico es el que más empleo crea por MW instalado (y por ende, por GWh producido).

Así, hasta una de las más grandes asociaciones nacionales del sector, la Asociación Empresarial Fotovoltaica (AEF), llega a decir<sup>10</sup> que:

*“El sector fotovoltaico es el más intensivo entre las energías limpias en la **creación de puestos de trabajo: entre 7 y 11 empleos por Megavatio instalado**, frente a un máximo de 2,7 empleos por megavatio en otros sectores”*

En la defensa del “Business as usual” y en la honorable defensa del empleo, esta asociación ha expresado, seguramente sin pensarlo, que tiene un coste energético relevante en este capítulo.

En ese momento, estas Asociaciones no estaban seguramente pensando en la TRE (EROEI), aunque de sus últimas presentaciones se deduce un creciente y sano interés en el asunto de la energía neta y una preocupación por mostrar tasas de recuperación energética que a veces se compadecen mal con todo este despliegue.

Además, y por si fuera poco, tanto esta Asociación como la otra grande del sector, ASIF, se vanaglorian en sus presentaciones sobre los empleos creados para un cierto nivel de actividad fotovoltaica. Las cifras que el sector maneja, según la fuente y el momento político, oscilan entre los 24.500 y los 41.700 empleos que incluyen directos e indirectos, pero con un promedio que bien podría calcularse en el año pico de la producción e instalación nacional (2008), alrededor de los 23.000 empleos directos o a tiempo completo.

Esto es sólo para la mano de obra española, y hay que considerar que una parte sustancial de los equipos instalados en España ha provenido de la importación (mucho más que la propia exportación española) y sobre ello hay abundante documentación. Así pues, a esa mano de obra española, una vez hecha neta la relación exportación/importación, hay que sumar mano de obra extranjera, cuyo coste energético va incorporado en los equipos instalados y generando en España.

Aún sin utilizar, como debería haberse hecho, las altas estimaciones del propio sector sobre empleos, y bajando hasta a 1-2 empleos fijo por MW instalado, el coste energético del empleo, cuando se aplica el baremo, arriba detallado, de **Equivalencias entre mano de obra y energía (2)**, ya supone y se come una parte apreciable de la energía que generan los sistemas que estos empleos mantienen. En concreto y repercutidos por año, entre un 4 y un 8% de la energía que generaron las plantas en 2009, según se hagan los cálculos.

Es evidente que estos datos hay que tratarlo con las cautelas necesarias y no realizar una suma aritmética simple sobre los costes energéticos del cuadro 3, porque en una visión holística, hay funciones que se entremezclan entre mano de obra y otros costes energéticos entendidos en su concepto amplio y completo.

Finalmente, existe otro gasto energético, que es el más difícil de calcular, pero en modo alguno despreciable, y es el que se refiere a los costes financieros de poner en marcha estos sistemas. No queda más remedio, en este caso, que recurrir a las **Equivalencias económico-energéticas (1)**, porque aunque algunos insistan en negarlo, el coste financiero de una operación (sea ésta financiar una fábrica de producción de módulos o inversores o seguidores para plantas FV; sea la operación de financiación del constructor, la de financiación del promotor o incluso la financiación del comprador final, que todas esas figuras y algunas veces multiplicadas puede tener esta “cadena de valor”, tiene que devenir en una relación final con el mundo físico.

Si el dinero tiene que tener alguna correspondencia con el mundo físico y éste se construye necesariamente con energía, que es el requisito previo e imprescindible para la existencia de todo bien o la prestación de todo servicio mensurable, el dinero tiene que representar un cierto nivel de consumo de energía.

Efectivamente, en esta otra aproximación, utilizando los precios de mercado de estas plantas hasta finales del 2008 y analizando toda la planta instalada en 2009, en sus distintas variedades (plantas fijas, con seguidores a uno y dos ejes), se verifica una inversión inicial para sus instalaciones y puestas a punto de unos 19.000 millones de Euros.

Si este capital necesario para poner en marcha unos 3.780 MWp y se acepta que son plantas que durarán 25 años, la repercusión anual de este capital sería de unos 760 millones de Euros al año. Añadiendo el capital necesario para operar y mantener, pagar seguros, seguridad y administración, impuestos, etc., se alcanza una cifra de capital total (inversión más circulante, pero sin intereses) de unos 1.200 millones de Euros/año exigibles para esta potencia instalada.

Esta cifra se aproxima bastante a la que resulta de utilizar las **Equivalencias económico-energéticas (1)**, para las actividades del cuadro 3 **Costes energéticos derivados de actividades típicas de un sistema fotovoltaico**.

## CONCLUSIONES

1. Este documento no permite detallar los análisis de cada uno de estos factores en profundidad, que se espera poder ofrecer en breve en un libro sobre el tema, pero la conclusión final es que conocido con bastante precisión el Eout o



energía entregada por todas las plantas fotovoltaicas de España en 2009 y dividiendo esta energía por la que resulta de analizar *in extenso* los inputs energéticos desde un punto de vista más completo y ampliado, se obtiene una TRE final para el año 2009 y para una muestra ya muy significativa de unos 3.830 MWp en todas las latitudes y con todos los sistemas que el libre mercado ha permitido (no para ejemplos específicos de laboratorio o de plantas individuales, seleccionadas a voluntad por los analistas convencionales) de alrededor de 2.

**Tasa de Retorno Energético (TRE) para la energía fotovoltaica en España (2009):  
TRE =2 Eout/Ein =2.**

2. Es curioso observar como esta TRE, mucho más baja que lo que los analistas convencionales suelen publicar, puede variar con algunos estudios de sensibilidad:
  - a. El factor más analizado por los expertos, que es el primero de los que figuran en el cuadro 3 (**el coste energético de fabricar e instalar módulos, inversores, seguidores e infraestructuras metálicas**), incluso variando el EPBT de este factor de 8 años a los 2 años que ahora prometen (aunque llevan prometiéndolo desde el año 2000), apenas varía en unas décimas la TRE total, vista de forma holística.

La razón es que el peso de la concentración de las esperanzas de que se de una importante reducción de costes y grandes mejoras tecnológicas en la eficiencia de conversión, está viciado hacia los componentes básicos del módulo FV: el lingote de silicio o el sustrato de CdTe o los nuevos conceptos, la oblea, la célula y el módulo representan apenas un 20% del coste energético, visto desde esta perspectiva energética SOCIAL. De hecho, el coste energético de las partes que componen la célula desde su origen en forma de silicio sin depurar, hasta que se incorpora al módulo FV ensamblada y soldada, son aproximadamente un 60% del total del coste energético del módulo, según varios autores de análisis convencionales de Análisis de Ciclo de Vida fotovoltaicos.

Por ejemplo, una reducción de costes a la mitad de los actuales por vatio pico, como reclaman últimamente algunos fabricantes de película delgada haber alcanzado, no representaría un cambio de paradigma sustancial en el proceso, incluso aunque estos sistemas de película delgada tuviesen la misma eficiencia energética que los actuales sistemas mono/polycristalinos, lo que por otra parte, dista de ser el caso a día de hoy.

Por el otro lado, por el del aumento de la eficiencia, observamos que los fabricantes que anuncian y venden sistemas con un 17% de eficiencia de conversión energética fotónica/eléctrica, frente a los que ofrecen los módulos con un 14-15%, colocan unos precios para estos sistemas de

aproximadamente un 30% superiores a los de rendimiento ligeramente inferior. Si hay que realizar una inferencia razonable entre energía y valor económico, por ese camino, por el momento, no se llega muy lejos.

Las células de rendimiento óptimo en laboratorio, que alcanzan hasta un 40% de eficiencia energética en la conversión fotónica/eléctrica, resultan ser de un coste insoportablemente alto para pensar en montarlos sobre paneles convencionales. El coste de estas células está en estos momentos entre los 25 y los 50.000 Euros/m<sup>2</sup>. Por esta razón, estas células no salen del laboratorio y si lo hacen es para ser troceadas y montadas sobre complejos sistemas de alta concentración que exigen seguimientos solares muy precisos, enfocando a centenares de soles, en los que una lente sobre la porción mínima de célula intenta reducir el coste. Este camino por la otra dirección, parece también bastante tortuoso e inaccesible.

- b. Si se utiliza el ratio económico-energético mundial, que es inferior al español, de nuevo, la aguja de la TRE se mueve más bien poco y no alcanza el valor de 3.
  - c. Si además se utiliza un criterio de conversión energética mucho más cauto y los datos de la energía primaria de un país, en este caso España, que suelen venir dados en Millones de toneladas de petróleo equivalente (MTpes) y en vez de hacer la conversión, como se ha hecho en este trabajo, de 1Tpe = 12 MWh, se utilizase el factor de conversión resultante de promediar éste con el de las centrales térmicas actuales de 1 Tpe = 4,4 MWh (estos dos valores tan diferentes, dependen de las direcciones de la conversión térmica-eléctrica o viceversa y representan las pérdidas por transformación de energía térmica a eléctrica de aproximadamente un 66%) y se utilizase un factor de conversión de 1 Tpe = 8 MWh, la TRE estaría en el orden de 3.
3. Existe una generalizada tendencia a creer que toda Tasa de Retorno Energético superior a la unidad, puede ser suficiente para mantener un sistema de forma sostenible, si el recurso teórico del que se nutre es suficientemente voluminoso, como en este caso es la energía del sol. Esto no es cierto, en absoluto.

Según se muestra en la figura 3, Charles Hall, es de la opinión, que este autor comparte, de que para que se pueda dar un concepto mínimo de civilización (entendida como la capacidad de una sociedad humana de poder realizar actividades más allá de las puras de la supervivencia, como el ocio, los juegos, la cultura y demás) la TRE debe tener un mínimo de 5.

Esto se puede ver de forma muy intuitiva con los ejemplos que se han contado multitud de veces sobre lo insostenible que sería para un guepardo tener que gastar más energía en la caza de su presa que la energía que va a obtener por ella al comérsela.

Haciendo esto extensivo a los mamíferos en general y al hombre en particular, y viendo al hombre como un simple mono desnudo, desde el punto de vista puramente termodinámico, habrá que convenir que si una pareja humana no puede extraer de su entorno la energía para alimentarse a sí misma y para alimentar al menos a dos descendientes por pareja (en el caso del hombre, es de los mamíferos que como individuo necesita más tiempo para llegar a ser autosuficiente y por tanto, de los que más tiempo depende energéticamente de sus progenitores) , la especie humana tendría una supervivencia imposible como especie.

Así que, vistos exclusivamente como los animales que termodinámicamente somos, como monos desnudos, sin llegar siquiera a alcanzar un atisbo de cultura, necesitaríamos una TRE de mínimo 2 y seguramente 3, (es decir, un acopio estable de tres veces las necesidades metabólicas) para poder disponer en el propio metabolismo de las reservas necesarias para casos de escasez, carestía o falta circunstancial de alimentos, además de para criar a la prole o defenderse de los agentes externos.

Por lo tanto, en este contexto, la energía fotovoltaica, tal y como se ha analizado para España en el año 2009, no tiene visos de poder sostener una civilización como la actual, que ahora consume 20 veces más energía que cuando se alimentaba exclusivamente con energía renovable, hace apenas unos 150 años, (biomasa fundamentalmente) y con un nivel de población unas 10 veces mayor.

O surge pronto un milagro fotovoltaico que haga cambiar de opinión a este autor, o sinceramente, no se ve esta tecnología como la que pueda sustituir a los fósiles y mantener esta sociedad y el modelo de vida actual, ya muy insostenible, acuciantemente insostenible; ni siquiera otro modelo menos consumista que pretenda mantener niveles de ocio y cultura similares a los actuales con los mecanismos actuales.

## REFERENCIAS

---

<sup>1</sup> Vaclav Smil. Energy at the crossroads. Background notes for a presentation to the Global Science Forum Conference on Scientific Challenges for Energy Research. Paris, May 17-18, 2006

<sup>2</sup> Vaclav Smil. Ibid. Páginas 2 y 3

<sup>3</sup> Información Estadística de las Ventas de Energía del Régimen Especial. [http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id\\_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&slcCat=10&keyword=&auditoria=F](http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&slcCat=10&keyword=&auditoria=F)

<sup>4</sup> La Tasa de Retorno Energético: Un concepto tan importante como evasivo. Pedro Prieto. Diciembre de 2006. [http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TRE\\_tan%20importante\\_como\\_evasivo.pdf](http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TRE_tan%20importante_como_evasivo.pdf)

<sup>5</sup> Economic Implications of a Changing EROEI. <http://www.aspo-spain.org/asp07/presentations/Hall-EROEI-ASPO7.pdf>

<sup>6</sup> <http://energybulletin.net/node/17219>.

<sup>7</sup> La energía en España, 2008. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, página 39. [http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/ENERGIA\\_2008.pdf](http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/ENERGIA_2008.pdf)

<sup>9</sup> Marco Raugéi. La electricidad fotovoltaica (PV) y su papel en el presupuesto energético actual y futuro. Ecología Política. Cuadrenos de debate internacional. Icaria

<sup>10</sup> [http://www.aefotovoltaica.com/pdf/manifiesto\\_AEF\\_en\\_defensa\\_de\\_la\\_energia\\_solar.pdf](http://www.aefotovoltaica.com/pdf/manifiesto_AEF_en_defensa_de_la_energia_solar.pdf)  
Manifiesto de AEF en defensa de la energía solar