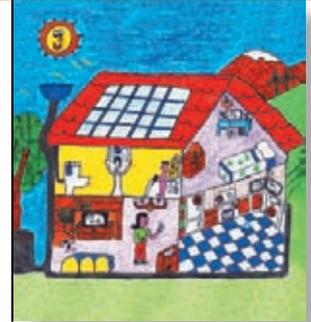


1

ENERGÍA CERO PARA LOS EDIFICIOS

D. GUINEA, M. C. GARCÍA-ALEGRE
Instituto de Automática Industrial CSIC
www.iai.csic.es



1. El uso de la energía por el hombre

Los avances científicos, el incremento del nivel de vida, el aumento de la población, el crecimiento económico son términos consustanciales al paso del tiempo tanto para el individuo como para el conjunto social. No siempre ha sido así. Durante miles de años para nuestra cultura, cientos de miles para la especie humana, el niño aspiraba a ser como su padre; objetivo que muchos infantes no lograban por la elevada mortalidad infantil. Alcanzar la vida adulta, procrear y conocer a los hijos en edad de valerse por sí mismos siempre ha sido la meta de cada ser humano, la garantía de supervivencia para la especie. Los cuidados de la madre, la capacidad de la caverna durante el invierno, el agua en el estío, la caza al alcance, la tierra disponible para la siembra han constituido límites a menudo insalvables para que el recién nacido llegue a la edad adulta y pueda contribuir al crecimiento de la tribu, del pueblo o de la nación.

Los recursos disponibles han determinado la forma de vida y el número de individuos que podía alimentar un territorio. El resto había de luchar por conquistar nuevos territorios contra el frío, la sed, las fieras u otros seres humanos o morir inexorablemente. Aunque el hombre sólo ha sido uno más en esta batalla por la vida de los individuos, de los grupos y de las especies, cualquier ser vivo se reproduce y desarrolla hasta el límite de los recursos disponibles.

Inusualmente, estas fronteras pueden abrir un hueco permitiendo una explosión de vida que no siempre perdura. Basta citar como ejemplo la estrategia de determinadas especies de poner enormes cantidades de semillas con la esperanza de que algunas de ellas logren sobrevivir en las extremas condiciones a que el entorno somete a sus individuos. Unas lluvias oportunas pueden hacer que los



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

huevos de los insectos eclosionen en un número muy superior al de costumbre y la vegetación pueda alimentarlos hasta la edad adulta. Sus necesidades crecen con el paso del tiempo y cuando acaban con los recursos a su alcance han de emprender un éxodo desesperado para la supervivencia. Así, arrasando cuanto encuentra a su paso, sólo el fin del alimento a su alcance pondrá fin a la plaga de langosta, nacida quizá en un lugar lejano al abrigo de un tiempo de bonanza.

2. La energía fósil

El hombre es la única especie que utiliza el fuego. Desde entonces los grandes bosques de las zonas más pobladas han ido desapareciendo lentamente, liberando terrenos para pasto del ganado y para el cultivo. Hace apenas dos siglos se hizo insuficiente la leña necesaria para alimentar las cocinas y estufas de las crecientes ciudades, los vapores que surcaban mares y ríos, las bombas de las nuevas minas y las máquinas de los telares. Fue preciso recurrir a la negra y maloliente herencia que la vida había acumulado lentamente bajo la tierra: primero el carbón, luego el petróleo, el gas natural, etc., y todo comenzó a cambiar muy deprisa.

La energía concentrada, abundante, liberaba esfuerzo y ofrecía enormes posibilidades, multiplicando los recursos para el transporte, la guerra, la construcción, la sanidad, la agricultura y la minería. En unas cuantas generaciones la población humana se multiplicó como nunca lo había hecho en cientos de miles de años de existencia hasta alcanzar en la actualidad más de 6.000 millones de individuos. Gracias a los combustibles los niños sobreviven a la infancia, la vejez se retrasa durante décadas, la producción se multiplica y una riqueza insólita fluye de minas y pozos hacia una humanidad en explosión.

Nunca tantos hombres poblaron la Tierra, nunca una sola especie influyó tanto y tan deprisa sobre el resto de los seres vivos, sobre ríos, mares, bosques e incluso sobre la atmósfera en su conjunto. El carbono lentamente acumulado por las plantas durante 3.000 millones de años, aprovechando una ínfima fracción de la radiación solar recibida, es devuelto a la atmósfera en unas décadas alterando en forma apreciable su composición.

2.1. Evolución de los recursos energéticos

En pocas generaciones la energía abundante se ha convertido en una necesidad perentoria para la población de los países desarrollados. Si durante el pasado siglo xx sólo una pequeña parte de los seres humanos tenían acceso al consumo masivo, hoy una porción importante de la población humana exige su participación en unos recursos necesariamente limitados por la naturaleza.

Desde la perspectiva actual es fácil olvidar que las fuentes de energía han variado drásticamente en su procedencia y cantidad a lo largo del tiempo, tal como se ve en la Fig. 1, en datos procedentes del libro de Miller, que incluye la profecía del hidrógeno como vector energético procedente de la radiación solar.

Hasta mediados del siglo xix el fuego de leña ha sido la fuente principal de energía para el ser humano y lo sigue siendo para el uso doméstico de una buena parte de la población. Sin embargo, su porcentaje respecto al total ha disminuido drásticamente en la actualidad debido al enorme incremento del consumo energético en otros sectores, incluida la vivienda de los países desarrollados.

También es interesante considerar la limitación a la disponibilidad de combustible nuclear para las centrales convencionales de fisión. En el gráfico de Miller, Fig.1, se constata que nunca será una porción muy importante de la generación global, aunque puede serlo para algunas regiones o países. Por otro lado, sus reservas no le auguran una supervivencia como recurso más allá que la del petróleo, por lo que difícilmente puede ser alternativa a éste en el futuro.

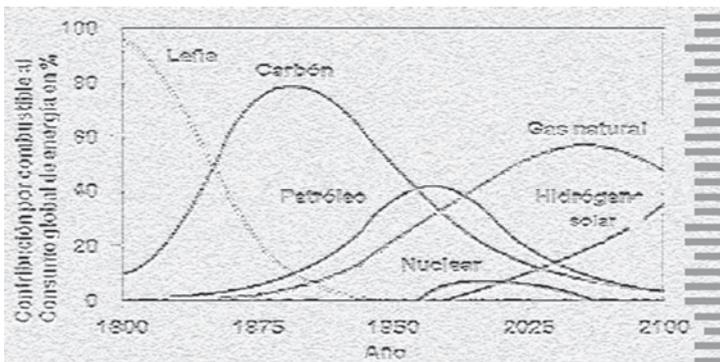
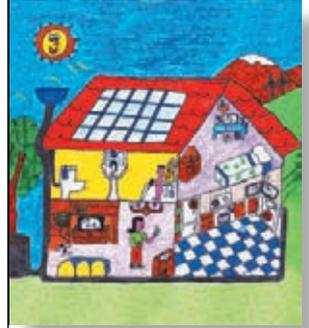


Figura 1. Evolución en el tiempo de la procedencia de la energía.



2.2. Necesidad de la energía

La Fig. 2 muestra el consumo actual en una perspectiva mundial del año 2004 realizada por Boyle, que confirma la estimación realizada tiempo atrás por Miller donde los combustibles fósiles, el petróleo, el gas natural y el carbón constituyen más de las tres cuartas partes de los recursos, mientras las renovables apenas llegan a la sexta parte del total.

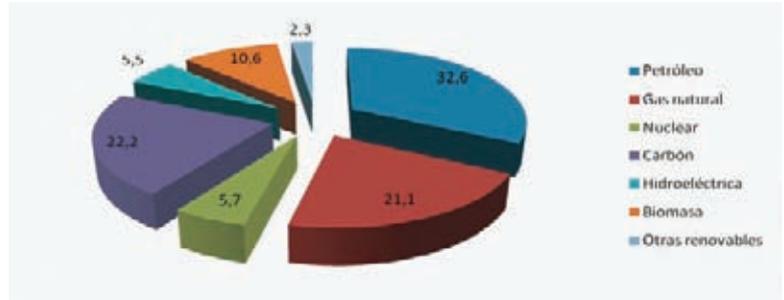


Figura 2. Diagrama mundial de consumo de energía según su procedencia. (Boyle, *Renewable Energy*, Oxford University Press, 2004).

Esta enorme dependencia de los combustibles fósiles unida al incremento de la demanda en buena parte generada por el acceso de gran parte de la población a los usos de consumo occidentales. En nuestro país, según el esquema elaborado por el Dr. E. Menéndez a partir de datos de la Fundación Alternativas, Fig. 3, se pueden establecer tres grandes sumideros de energía: el transporte con casi un 40% del total, la industria con algo menos del 30% y el resto en el que el consumo de los edificios tiene un peso muy importante.

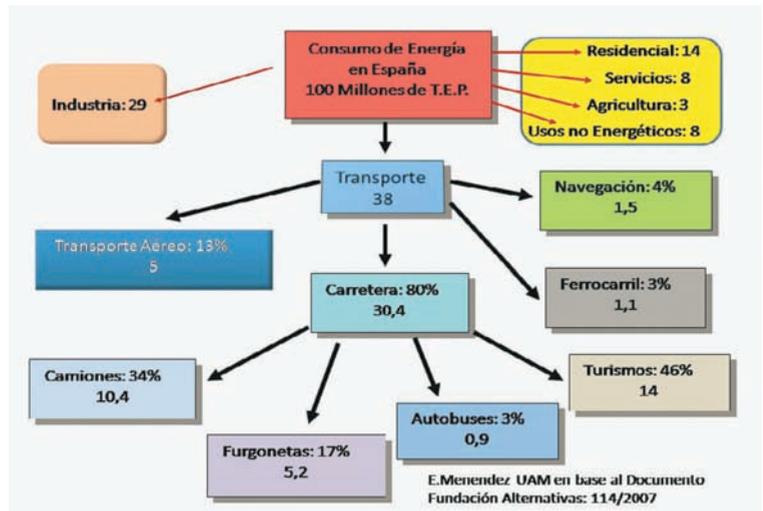
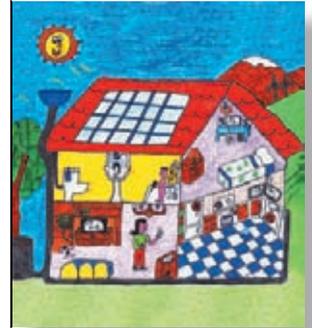


Figura 3. Diagrama español de consumo.

Excepto en los ferrocarriles con tracción eléctrica, el transporte se caracteriza por la necesidad de acumular energía sobre elementos móviles, sin posibilidad de aportación continua desde una red de transporte estática. La densidad de energía es una característica esencial en este sector, crítica para el transporte aéreo, que hasta el momento queda reservada casi en exclusividad a los hidrocarburos derivados del petróleo.

La naturaleza móvil de los vehículos y otros elementos móviles hace difícil y costosa la recuperación de flujos residuales, sean de productos químicos como el CO₂ liberado en la combustión, térmicos como el calor procedente de la refrigeración del motor o mecánicos en el proceso de frenado regenerativo del vehículo. Algo similar sucede en las aplicaciones estacionarias de baja potencia para vivienda o servicios, donde el uso de energía se encuentra muy distribuido a menudo procedente de conexión a redes terrestres de distribución eléctrica, gas natural, etc.

El uso de carácter industrial supone en muchos casos una elevada concentración en el uso de la energía: centrales de generación eléctrica, sector de metal en general con la siderurgia en particular, la cerámica, los cementos, las petroquímicas, etc. En este caso, tanto los esquemas de consumo como la recuperación de subproductos es más rentable aunque requieren recursos energéticos próximos, lo más adaptados posible a la naturaleza del consumo.



3. La eficiencia como recurso

3.1. Rendimiento global del flujo de energía

En el citado texto de Miller se describe el porcentaje medio de uso en un país desarrollado tipo, de cada cien unidades de energía consumidas, Fig. 4.

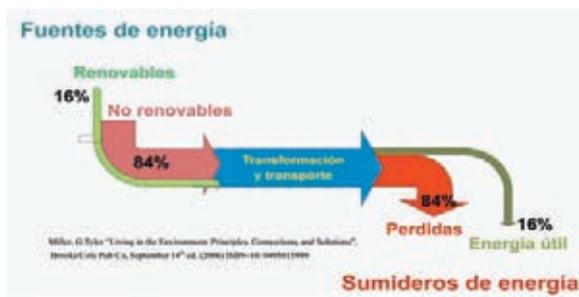


Figura 4. Eficiencia del sistema energético.



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Sólo el equivalente a 9 unidades de las 100 consumidas alcanza la aplicación requerida por el usuario, 7 se concentran en materiales de alto contenido energético y el resto, hasta un total de 84, directamente se desperdicia en la extracción, transformación y transporte como producto o vector de energía. Cabe considerar que existe en la actualidad tecnología capaz de recuperar más de la mitad de esta energía actualmente desaprovechada.

3.1.1. La red eléctrica

Los esquemas actuales para distribución de energía se heredan de una época de combustible barato y supuestamente inagotable. La infraestructura de las redes de distribución es costosa y de lenta evolución, lo que supone que una gran parte de los elementos que la componen no incorporan tecnologías de última hora y fueron diseñados atendiendo más a limitar su coste de instalación que la eficiencia global del sistema. Por ejemplo, en la fase inicial de generación, las actuales centrales de ciclo combinado ofrecen un rendimiento notable, pero muchas de las convencionales de carbón, fuel o combustible nuclear son de baja eficiencia.

A la limitada eficiencia del ciclo térmico en la central se le ha de restar el consumo en la extracción, procesamiento y transporte del combustible, además del transporte, distribución y uso de la electricidad generada. Así, cada kWh que alcanza el radiador que calienta nuestra vivienda consume 6 kWh de recursos primarios en combustible, sin considerar lo que se puede desperdiciar de esta preciosa fracción con la ventana abierta de una habitación excesivamente caliente o con la ventilación forzada por la normativa arquitectónica de la cocina; hechos que multiplican el mal uso de las fuentes disponibles.

3.1.2. Del pozo a la rueda

La renovación de los elementos en el sector del transporte se realiza en plazos menores, pero tiene limitaciones de eficiencia similares en cuanto al empleo del ciclo de Carnot se refiere. Los materiales disponibles, su coste y duración determinan la temperatura máxima del foco caliente, mientras que la temperatura ambiente establece la del

foco frío. La diferencia entre ambos acota el rendimiento de la conversión del ciclo desde la energía térmica a la mecánica.

A pesar de los enormes avances en diseño, materiales y funcionamiento de los nuevos motores, la eficiencia de las dos etapas, desde el yacimiento de combustible al tanque del vehículo y desde éste a la potencia de tracción en la rueda, no supera en promedio las estimaciones de Miller para el sistema energético global.

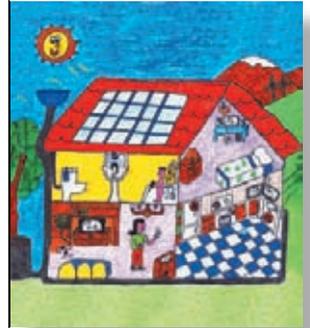
3.2. Ahorro frente a nueva generación

Una visión pesimista de esta situación con una eficiencia global del sistema en torno al 16% concluye que para aportar al usuario cada nueva unidad de energía es preciso la aportación de recursos por valor de seis. Por el contrario, el ahorro de una parte recuperada dentro del esquema evita la generación de seis, así como los problemas de todo tipo a ello asociados en cuanto a su coste, la contaminación, la disminución de las reservas. Esto supone que el empleo de las tecnologías existentes y el desarrollo de otras nuevas para incrementar la eficiencia energética es, sin duda, el mejor yacimiento energético para el inmediato futuro.

4. Balance de energía en el planeta

La posibilidad de mejorar los esquemas energéticos actuales es una necesidad inmediata, pero no la solución definitiva capaz de garantizar el suministro para las generaciones futuras. La demanda de combustibles difícilmente disminuirá, aunque puede limitar su crecimiento bajo la presión de unos precios cada vez más elevados en cuyo ascenso influyen la disminución de las reservas y el incremento de los costes de extracción.

En tanto la técnica nos garantice el acceso a nuevas fuentes de energía, tales como la fusión nuclear, es preciso determinar la naturaleza y aportación potencial de los recursos permanentes o renovables para establecer las adecuadas estrategias de desarrollo tecnológico y consumo racional. En una situación de equilibrio sobre la superficie terrestre la suma de aportaciones ha de ser igual a las pérdidas de





Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

energía en un flujo de suma cero, Primer Principio de la Termodinámica. Este flujo de energía constante, que ha de considerarse necesariamente como nuestro único manantial seguro, tiene según M.K. Hubbert en 1972 tres orígenes, Fig. 5.

- **Interno: calor bajo la corteza**

El primero es el calor interno del propio planeta Tierra que lentamente se enfría aportando una radiación distribuida sobre la esfera superficial que se estima en unos 32 TW. Los pozos de gran profundidad permiten el acceso a temperaturas relativamente elevadas susceptibles de uso tecnológico, aunque en cantidades limitadas y a coste elevado. Sin embargo, en determinados lugares de la corteza terrestre el calor fluye espontáneamente a temperaturas elevadas en forma de lavas volcánicas o fuentes termales. Islandia, Lanzarote, Pirineos u otros puntos activos son ejemplos de ubicación potencial de aprovechamiento geotérmico de alta temperatura. Ahora bien, siendo una aportación localmente muy significativa su contribución global se limita a unos 0,3 TW.

- **Externo: la Luna y el Sol**

La interacción gravitatoria, principalmente de la Luna, sobre la masa líquida de los océanos en forma de mareas aporta una cantidad de energía cifrada en unos 3 TW. Su utilización sólo es posible en aquellos escasos lugares donde la potencia del movimiento marino, establecida por el caudal y el desnivel, pueda ser aprovechada por la configuración del terreno a un coste razonable de infraestructura.



Por último, se ha de considerar la energía que procedente de la radiación solar incide sobre la superficie de nuestro planeta en una cantidad estimada en 174.000 TW, cuatro órdenes de magnitud por encima de las anteriores. Esta energía es el común origen del calentamiento superficial (82.000 TW), del ciclo del agua (40.000 TW), del viento, olas y corrientes (370 TW) e incluso de la vida a partir de la síntesis orgánica en la función clorofílica (40 TW).

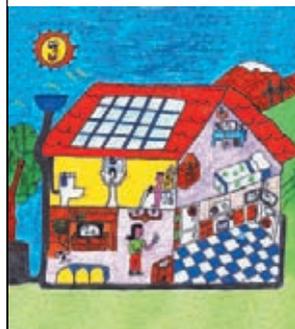
El Sol es, con enorme diferencia, la fuente de energía más importante y mejor distribuida, a partir de la cual la vida precedente acumuló los hidrocarburos que hoy constituyen los combustibles fósiles y liberaron a la atmósfera el oxígeno que hoy respiramos. Desde este punto de vista, el gas natural, el petróleo, el carbón, el viento, las olas o los saltos de agua no son sino subproductos, etapas de degradación o concentración de una energía que tuvo su origen en los rayos del Sol. Es importante también hacer constar el elevado porcentaje que la superficie terrestre captura de la radiación solar incidente: aproximadamente la mitad como promedio y hasta un 90% en el agua profunda de lagos, mares y océanos.

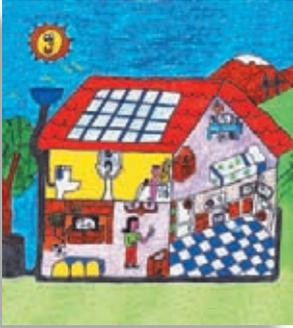
La generación de materia orgánica es, sin embargo, un proceso complejo de baja eficiencia con un balance energético próximo al uno por mil. Con este bajo rendimiento, difícilmente el uso de biomasa o los biocombustibles serán una fuente eficaz de energía útil para el futuro, aunque puedan constituir en determinadas condiciones un excelente negocio.

En resumen, el balance global de energía es tan favorable como desaprovechado. Según datos del IDAE, el consumo medio de una vivienda en España está próximo a los 100 kWh/m²año de los que el 70% es consumo térmico (calefacción, refrigeración y ACS) y el restante 30% es necesariamente eléctrico en iluminación, electrodomésticos, comunicaciones, etc. Frente a esta necesidad, el Sol proporciona sobre la cubierta por radiación directa unos 1600 kWh/m²año, muy superior a lo que se precisa en el interior de la vivienda. Parece claro que la solución no estriba en la consecución de nuevas fuentes de energía, sino en el mejor empleo de las disponibles.

5. A favor de la entropía

La Tierra es sólo un escalón de tránsito en el flujo de la energía que recibe del Sol y la que emite al espacio como radiación electromag-





Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

nética de mayor longitud de onda. La potencia recibida no es homogénea, sino que se concentra en gran medida en las bajas latitudes. Sin embargo, la emisión terrestre es casi uniforme, lo que implica un continuo bombeo de energía de las bajas a las altas latitudes. Ello se realiza en buena parte sobre los ciclos del agua originando la actividad atmosférica y oceánica.

Es fácil comprender que al mezclar medio vaso de agua caliente con la misma cantidad de agua fría conseguimos un vaso de agua templada. Lo mismo sucede con la temperatura del agua del pozo o la del fondo de la cueva, como promedio entre el calor del verano y el frío del invierno, cuya temperatura integra la gran inercia térmica del subsuelo. Pero el trabajo lo provoca la diferencia entre dos niveles térmicos y, por tanto, el flujo de energía entre diferentes temperaturas en el intento de la naturaleza de alcanzar la homogeneidad.

Volver a separar la mitad de agua caliente de la fría en el vaso de agua tibia es un desafío que ya se planteó Maxwell un par de siglos atrás con la propuesta de su famoso diablillo. Remar contra la corriente de la entropía es terriblemente costoso e ineficiente en procesos tan habituales como ignorados. La posibilidad de conseguir directamente una temperatura de confort en torno a los 24 °C a partir de la radiación solar no parece tarea difícil en nuestro clima, especialmente si logramos acumular y mantener el intenso calor del verano para su uso durante el invierno.

Ahora bien, no será tan sencillo y eficiente el proceso de concentrar la radiación en una central solar de alta temperatura para transportarla a varios cientos de grados utilizando como soporte aire, aceite o sales fundidas. Este flujo ha de ceder el calor para generar vapor de agua que accione una turbina que a su vez moverá un generador eléctrico cuya corriente será transformada en tensión varias veces para enviarla a gran distancia hasta el radiador eléctrico que calienta nuestro domicilio. Es evidente que en este caso se utiliza al final de la cadena una fracción ínfima de la energía incidente, en un esquema mucho más caro y complejo que el anterior, pero sobre todo con un rendimiento global mucho menor.

Por extraño que pueda parecer en una vivienda es mucho más frecuente el uso de calefacción eléctrica que solar directa. Puede ser una solución más cómoda y directa para el usuario, pero, sobre todo,

asegura un recibo perenne a la compañía suministradora y los impuestos correspondientes al Fisco, inexistentes ambos en el primer caso de autosuficiencia.

a) Térmica: captura, acumulación y uso

Otro ejemplo tan próximo como significativo del esfuerzo habitual en contra de la entropía lo constituyen los sistemas de climatización basados en intercambiadores aire-aire. En aquellos reversibles para calefacción y refrigeración, el motor eléctrico que acciona el compresor para mantener el interior del edificio en la banda de confort de 20-24 °C ha de arrancar calor del aire exterior helado en una noche de invierno o forzar su expulsión al aire tórrido del mediodía de verano. La conductividad térmica relativamente baja del terreno y su gran masa lo convierte en un gigantesco acumulador que a poca distancia de la superficie mantiene la temperatura promedio de la zona, unos 15 °C en el entorno de nuestro laboratorio según la Fig. 6.

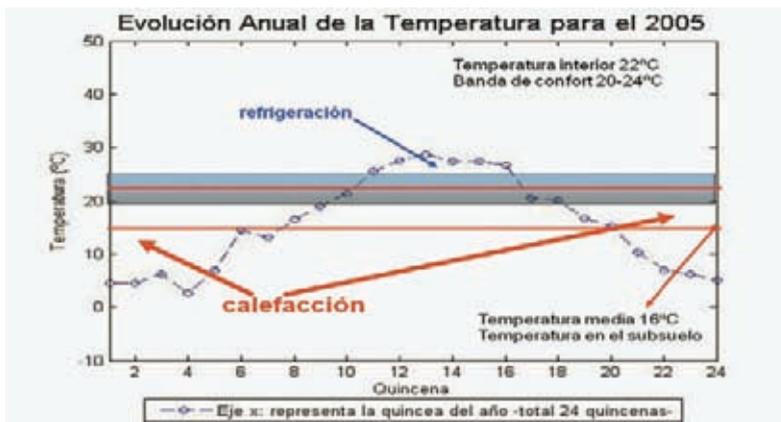
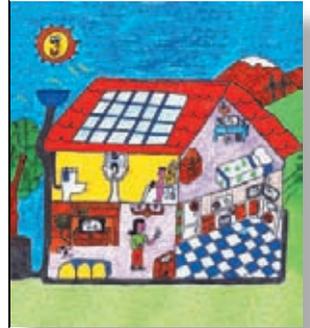


Figura 6. Evolución de la temperatura exterior en el terreno experimental del Laboratorio de Energías Renovables del IAI-CSIC en el campus de Arganda.

La eficiencia teórica o coeficiente de operación de una bomba de calor depende en gran medida del salto térmico entre el primario y el secundario, Fig. 7. Por ello, la sencilla utilización del subsuelo como fuente de nuestra bomba acerca drásticamente la temperatura de la fuente a la del interior de la vivienda en invierno y en verano la temperatura base de 16 °C puede emplearse directamente como base de refrigeración.

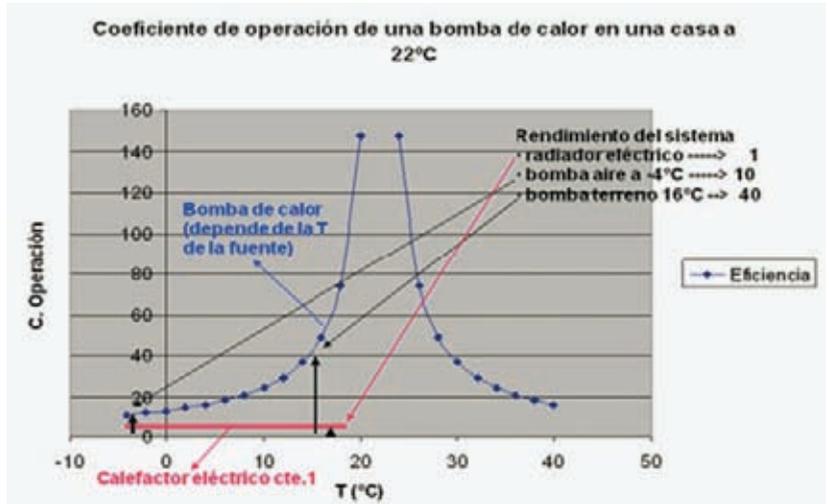


Figura 7. Eficiencia teórica de una bomba de calor en función del salto térmico.

Ahora bien, esta fuente de temperatura estable procedente del subsuelo puede utilizarse en forma tan eficaz sin aportación térmica, creando una isoterma o barrera térmica® (Krecke) entre dos capas aislantes, Fig. 8, en toda la envolvente del edificio. Alimentando el interior del muro con la temperatura del subsuelo, en torno a los 16 °C en nuestro laboratorio, no se aporta calefacción al interior del edificio, pero se modifica en buena medida el gradiente térmico a través del muro.

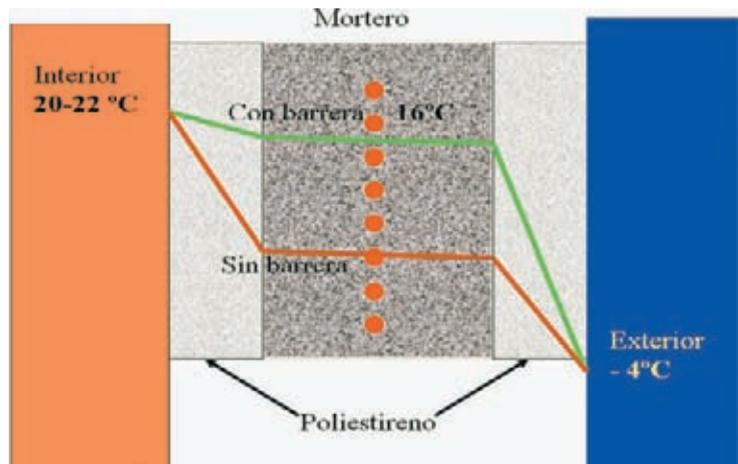


Figura 8. Muro con barrera térmica.

Las pérdidas de calor son proporcionales a la pendiente del gradiente de temperaturas, por lo que al elevar la del interior del muro el escape de energía de la vivienda se reduce notablemente. En estas circunstancias una parte considerable de la energía procede del calor acumulado en el terreno a un coste casi nulo, sólo el necesario para mover el fluido a través de los tubos que constituyen los cambiadores de calor bajo tierra y en la envolvente del edificio, Fig. 9.

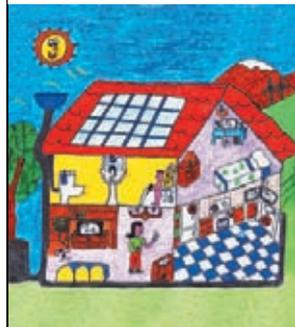


Figura 9. Acumulación geotérmica selectiva en Campus del CSIC - Arganda.

Ahora bien, el flujo térmico procedente de los muros y de la cubierta puede ser dirigido a zonas diferentes del subsuelo en función de su temperatura. Este sencillo esquema posibilita un almacenamiento selectivo de calor o frío en función de los perfiles climáticos de la zona, evitando la deriva anual de la temperatura en los intercambiadores subterráneos. Por otro lado, permite el uso de estos geotanques en aplicaciones concretas tales como agua caliente sanitaria ($T > 40\text{ °C}$), calefacción ($25 - 30\text{ °C}$) o refrigeración ($T < 15\text{ °C}$).

b) Electroquímica: el vector hidrógeno

Si la acumulación en el subsuelo hace posible disponer del calor del verano para el invierno e incluso el frío del invierno para el verano en cantidad suficiente y con una eficiencia notable, es preciso también capturar la luz del día para iluminar la vivienda de noche o para accionar cualquier carga en el momento preciso.



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La energía recibida directamente del Sol es suficiente para satisfacer las necesidades del edificio, mediante su transformación y almacenamiento local, que se limitan a unos 30 kWh/m²año frente a los 1.600 kWh/m²año recibidos como radiación en nuestra latitud. Ello supone el desarrollo de un sistema capaz de aprovechar el 2% de la radiación recibida, aparentemente fácil dado el rendimiento de la tecnología fotovoltaica comercial de Si monocristalino cifrado en el 15% aproximadamente.

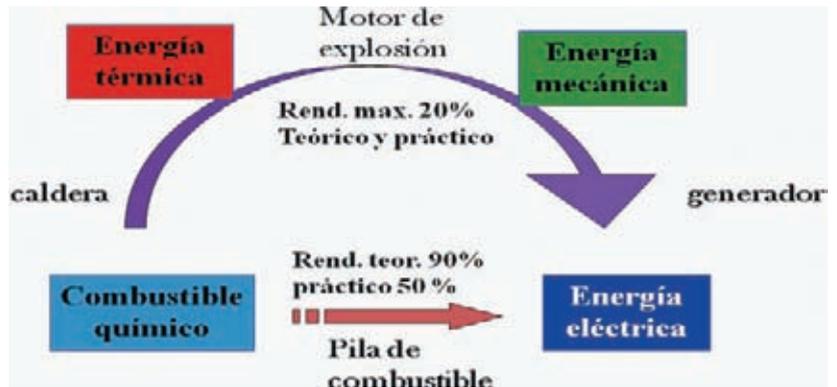


Figura 10. Generación eléctrica convencional frente a pila de combustible.

La limitada densidad de potencia de los acumuladores eléctricos convencionales sugiere el empleo del hidrógeno como base de almacenamiento y, en su caso, de transporte. Para ello es preciso convertir la energía eléctrica excedente durante las horas del día en hidrógeno a través del electrolizador pertinente. El almacenamiento de este gas en aplicaciones estacionarias no presenta los inconvenientes de densidad, compresión, volumen y peso propios de su empleo en los vehículos. El uso de tanques de hidruros metálicos o la simple compresión a unas decenas de atmósferas son soluciones aceptables para el hidrógeno en aplicaciones para la edificación hasta su uso posterior en una pila de combustible, Fig. 10, según el esquema utilizado en el prototipo de vivienda que muestra la figura, realizado por nuestro grupo de investigación para EXPOAGUA 2008 en Zaragoza, Fig. 11.

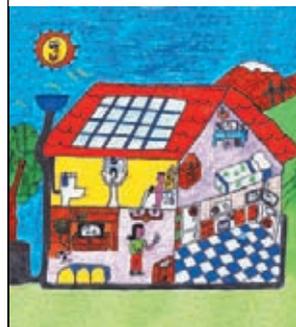
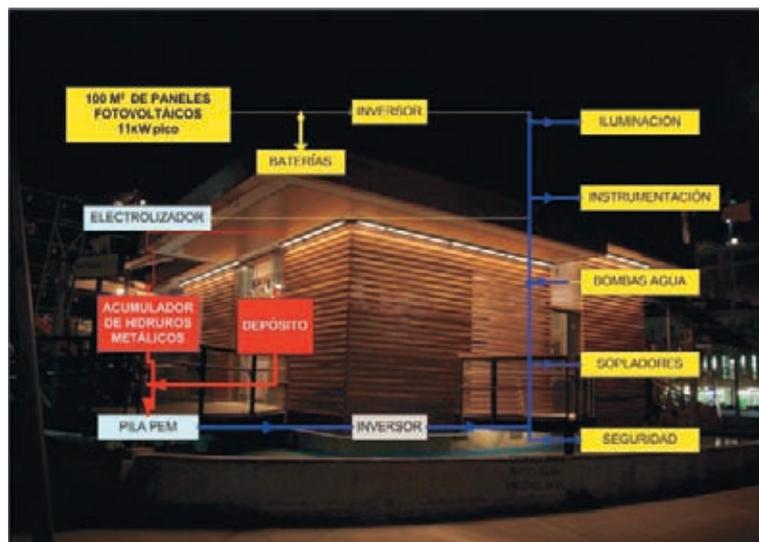


Figura 11. Hidrógeno en la "casa posible" de EXPOAGUA 2008 - Zaragoza.

Si bien la solución para proporcionar a los edificios la energía necesaria para su consumo térmico es técnica y económicamente competitiva en el momento presente, ya existe tecnología para la generación y uso del hidrógeno aunque su coste es aún excesivamente elevado. Por ello, el trabajo de nuestro grupo de investigación se centra en el desarrollo de nuevos sistemas de generación de hidrógeno y pilas de combustible más eficientes, ligeros y baratos.

6. Conclusiones

La energía es sólo una de las muchas exigencias de la presente civilización, al tiempo que el agua, los alimentos, el hierro, el cobre y un conjunto cada vez mayor de suministros, muchos de ellos no renovables en la naturaleza. Una población creciente de individuos con consumo en ascenso en un planeta con recursos limitados está inevitablemente abocada a la crisis. En épocas anteriores las guerras, epidemias o hambrunas han forzado el ajuste entre población y recursos, cabe la esperanza de que la civilización pueda ofrecernos una perspectiva más halagüeña para el futuro inmediato.

En las épocas de crisis graves, como los periodos de guerra o posguerra, es la población urbana más desarrollada la que sufre sus peores consecuen-



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

cias, en tanto que las zonas rurales más próximas a la economía de subsistencia se ven menos afectadas. La proximidad a la fuente del recurso es una garantía de acceso cuando comienza la escasez por problemas en los mecanismos sociales de producción, transporte o comercialización.

Las redes de energía con generación y acumulación distribuida surgen con fuerza y recuerdan una extensión de los esquemas de Internet al mundo de la potencia eléctrica y redes de combustible. La distribución inherente al recurso solar y el desarrollo de la transmisión de información sugieren para el futuro una población dispersa con alto grado de interconexión lógica con redundancia en la conexión local de energía, basada en la electricidad y el hidrógeno.

Las aplicaciones industriales de elevado consumo habrán de aproximarse y adaptarse a los lugares o fuentes de generación concentrada: centrales hidráulicas, parques eólicos, centrales de marea, etc. Los combustibles de elevada contaminación como el carbón se procesarán en centrales donde energía y productos orgánicos se acompañarán de la adecuada recuperación e inactivación de los flujos residuales.

Economía y ecología, términos con la misma raíz de ascendencia griega (*oikos*), habrán de confluir en una sociedad de crecimiento adaptado a los recursos, condición indispensable para la supervivencia de la especie humana, junto a muchas otras hoy en trance de desaparición.

7. Agradecimientos

El MEC ha financiado el desarrollo de nuevos dispositivos de hidrógeno en el proyecto "Diseño y realización de una nueva Pila de Combustible polimérica de bajo coste y alta eficacia" MCYT-ENE2005-09124-C04-02/ALT, en ENE2008-06888-C02-02, y en ENE2009_14750-C05-01. Los aspectos térmicos han sido posibles por confianza de EXPOAGUA para construcción e instrumentación de prototipos de vivienda autosuficientes a escala real. Las ideas, recibidas en largas conversaciones y numerosos documentos del Ing. E. Krecke, propietario de ISOMAX y creador de la Fundación TSW de construcción solar, han abonado una parte importante de este discurso. El PSE INVISO del MICINN ha financiado la proyección de estas técnicas a la Industrialización de la Vivienda Sostenible.

8. Bibliografía

- BALLESTEROS, J. C. (2007): Energía solar térmica para generación eléctrica: estado actual y perspectiva inmediata, en *Energía Solar: Estado Actual y Perspectiva Inmediata*. Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI y Universidad Pontificia Comillas.
- BOYLE (2004): *Renewable Energy*. Oxford University Press.
- HUBBERT, M. K. (2007): Man's Conquest of Energy: Its Ecological and Human Consequences, en *The Environmental and Ecological Forum 1971-1972*. Atomic Energy Commission Publication TID-25858, 1972. Washington D.C., U.S.
- IDAE: *Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable*, 2ª edición.
- LÓPEZ, J. M.ª (2007): *El medioambiente y el automóvil*. Ed. Dossat.
- MENÉNDEZ, E. (2008): *El papel de las tecnologías en la gestión del Cambio Global*. Dept. de Ecología UAM. Madrid.
- MILLER, G. T. (2006): *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*. Brooks/Cole Pub Co., September 14th ed. ISBN-10: 0495015989.
- RIFKIN, J. (2002): *The hydrogen economy*. Tarcher. New York.

