

# Acumulación geotérmica en la edificación: un prototipo para climatización estacional

D.Guinea<sup>1</sup>

1 Instituto de Automática Industrial. Consejo Superior de Investigaciones Científicas

## 1. ENERGÍA SOSTENIBLE

Se calcula que entre un tercio y la mitad de la energía consumida a nivel mundial se destina a las edificaciones. En gran medida, esto se debe a unos usos sociales basados en la existencia inagotable de energía barata, causa de un sistemático despilfarro de los recursos disponibles en un uso irracional de las distintas fuentes de energía cuya demanda crece a medida que lo hace el nivel de vida de una población cada vez mayor de nuestro planeta.

Consideremos que (Miller, 2005) del total de la energía utilizada hoy, aproximadamente el 84% procede de combustibles fósiles, el 7% de combustibles nucleares, ambos no renovables, y sólo el 9% restante de fuentes renovables, como la eólica, solar o biomasa. Con los esquemas de consumo actuales se puede cifrar en un 16% la energía aprovechada del total de la consumida. Esta sexta parte del total consumido va destinado a cubrir las necesidades globales, tanto en la producción de energía eléctrica como en combustibles o materiales de alto consumo energético como el acero, cementos, cerámicas, etc. El resto de los recursos gastados, hasta el 84% restante, se desaprovecha en los procesos de captura, transformación, transporte, almacenamiento o empleo. En el momento actual disponemos de tecnología adecuada para recuperar la mitad de esta energía desaprovechada mientras que sería irrecuperable la otra mitad.

Según la organización US Green Building Council [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org), en los Estados Unidos, los edificios suponen:

- 36% del total de energía.
- 70% de la electricidad.
- 38% de las emisiones de efecto invernadero.
- 30% del consumo de los materiales básicos.
- 30% de la generación de desperdicios.
- 12% del consumo de agua potable.

Una vivienda típica americana de unos 150 m<sup>2</sup> requiere para su construcción la madera de 3.300 m<sup>2</sup> de bosque.

Si las razones ecológicas, sociales o de futuro no han variado sustancialmente estos hábitos de consumo, el compromiso de Kyoto puede suponer costes directos muy significativos para los encargados de adoptar las decisiones tanto políticas como empresariales. En recientes análisis, España se muestra como el país de la Unión Europea más alejado de la cota admisible en la emisión de gases de efecto invernadero y, por tanto, aquel donde el coste de la contaminación generada puede influir más negativamente en la competitividad de sus productos y en su futuro desarrollo. En este punto cabe remarcar que bastaría recuperar, con tecnologías existentes o por desarrollar, una pequeña fracción de ese enorme 84% de energía desaprovechada para cubrir ampliamente los compromisos adquiridos en Kyoto, poniendo los medios para consumir menos energía manteniendo una misma calidad de vida.

## 2. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Según Wikipedia, la energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Se obtiene energía geotérmica por extracción del calor interno de la Tierra.

### 2.1 ALTA TEMPERATURA

En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se perfora por fracturas naturales de las rocas basales o dentro de rocas sedimentarios. El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua y de vapor (flashing). El método a elegir depende del que en cada caso sea económicamente rentable.

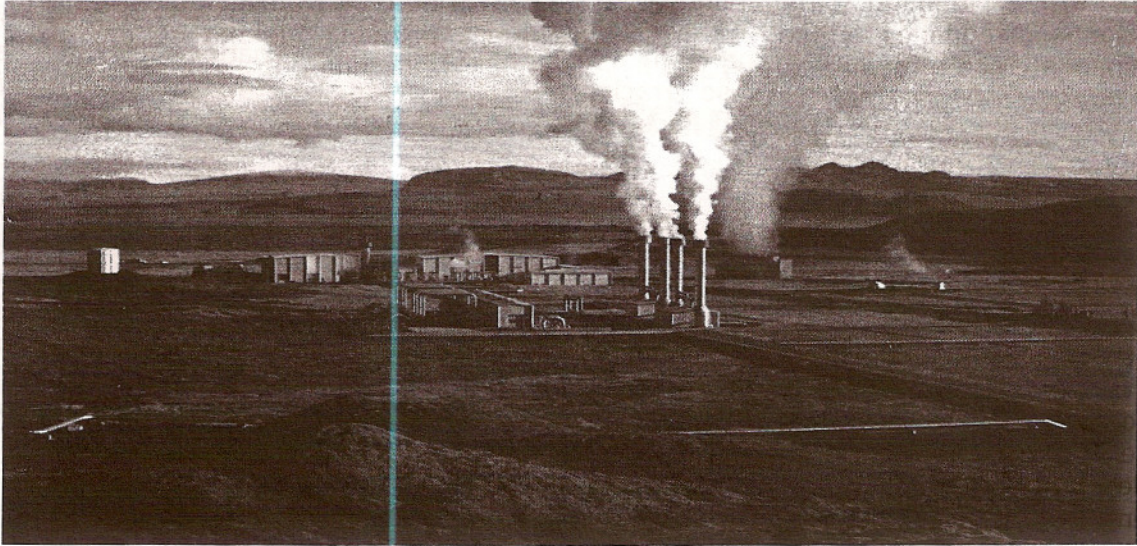
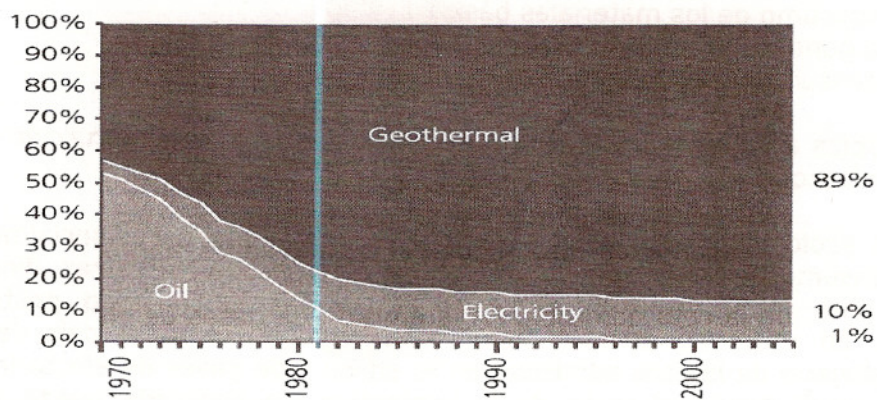


Foto 1. Planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia.

En lugares como Islandia, este recurso ha supuesto en los últimos años un cambio radical en los patrones de uso de combustible.



Relative share of energy resources in the heating of houses in Iceland

Figura 1.

Además, supone un importante ahorro de los combustibles fósiles.

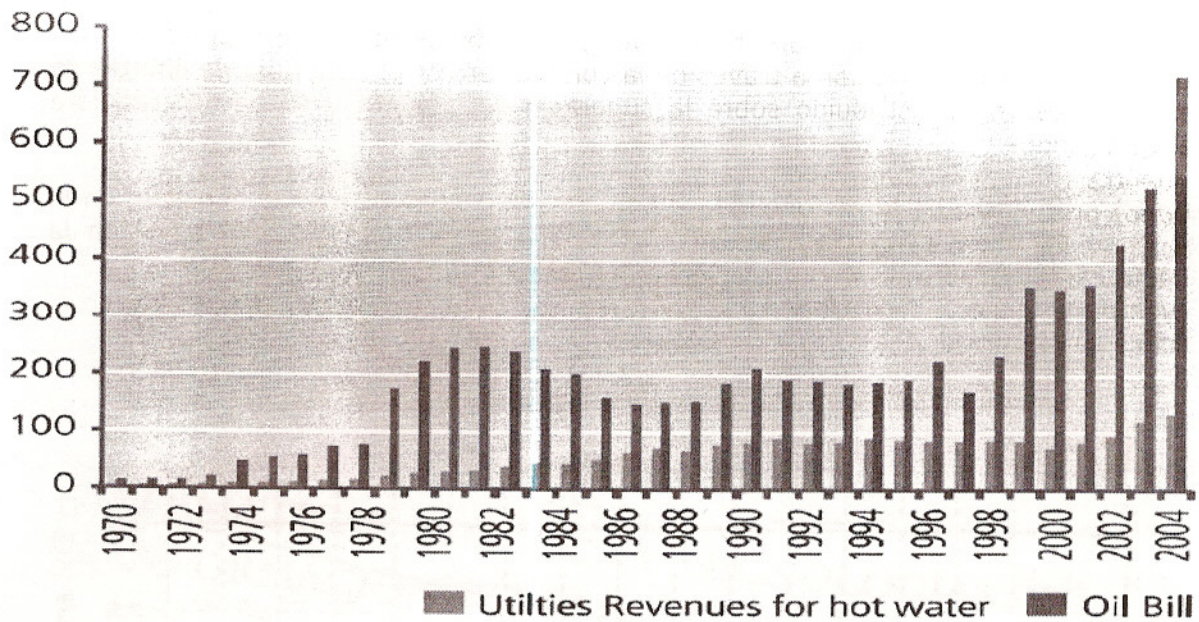
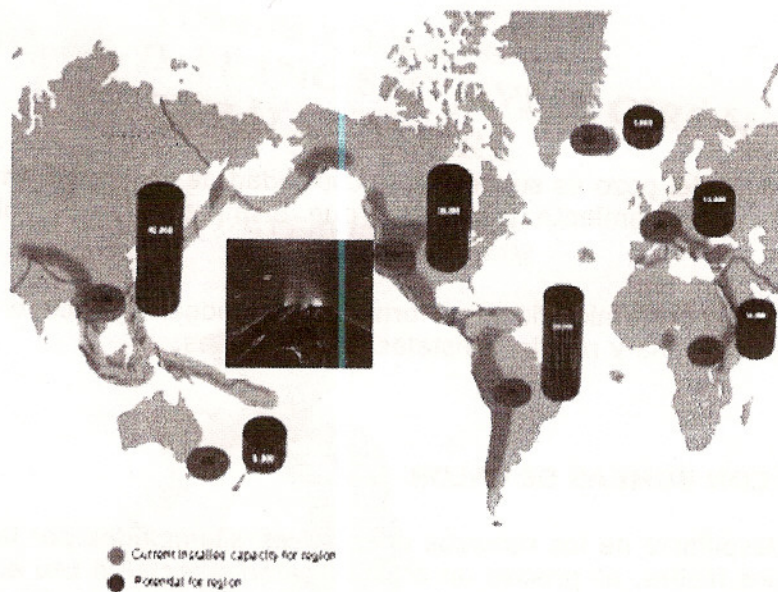


Figura 2.

La rentabilidad de la energía geotérmica supone el acceso a zonas de elevada temperatura próximas a la superficie terrestre. Esto sucede en áreas específicas, ligadas a los límites de las placas tectónicas y a la actividad volcánica, representadas en el mapa de Glitnir Energy Research.



*World map showing volcanic and geothermal activity, the associated tectonic plate boundaries and the current installed geothermal power capacity and potential in various regions (Glitnir Energy Research, 2007).*

Figura 3.

## 2.2 BAJA TEMPERATURA

Ahora bien, la energía geotérmica de alta temperatura sólo se estima (Hubbert, 1972) en 0,3 TW frente a los 32 TW, dos órdenes de magnitud por encima, que representan las pérdidas de calor por conducción a través de la corteza terrestre. Este flujo de energía se encuentra mucho más distribuido sobre la superficie del planeta y su acceso requiere sondeos profundos.

En este caso, el coste de la perforación, el limitado salto térmico que se consigue en la mayor parte de estos pozos y la lenta recuperación de la fuente, hacen difícil en la práctica su rentabilidad.

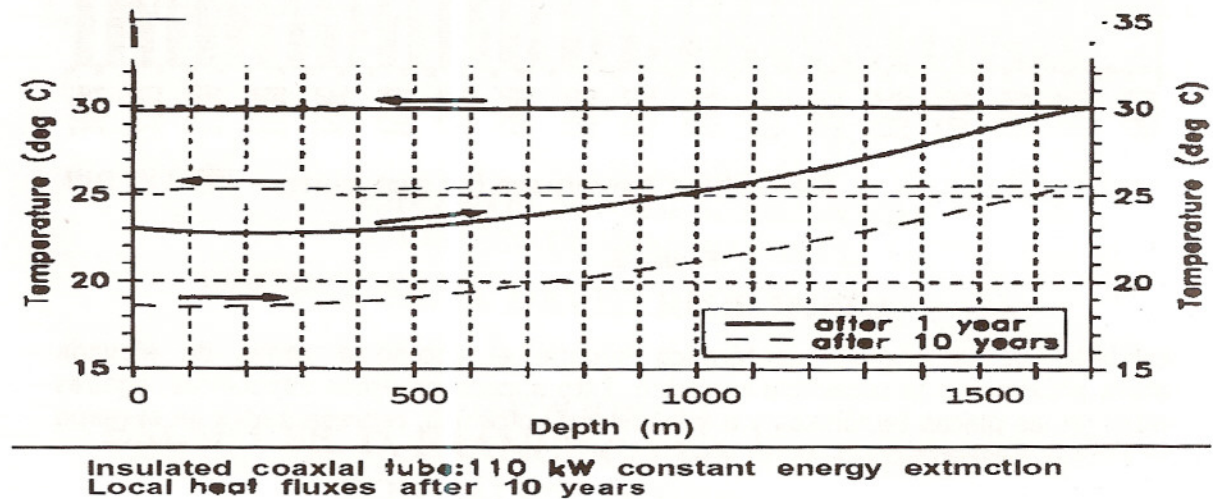


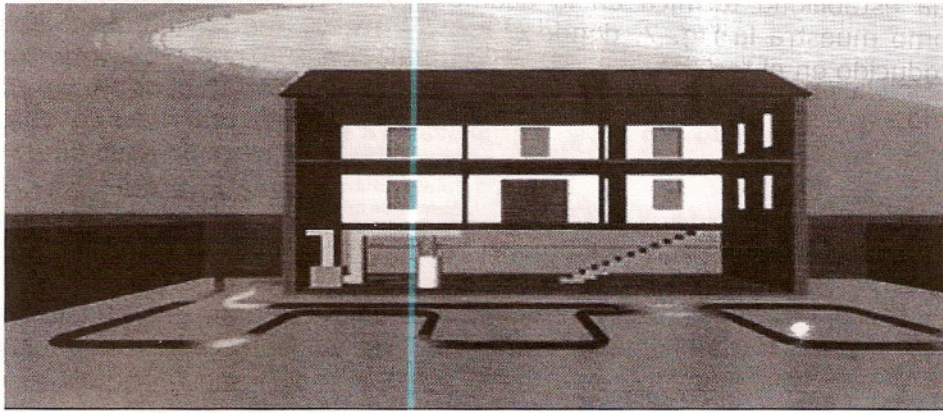
Figura 4.

Cuando el calor extraído del pozo es superior a la capacidad de recuperación térmica del terreno se produce un enfriamiento progresivo que disminuye la rentabilidad de la instalación.

Si bien este tipo de energía térmica fluye en forma casi homogénea hacia el exterior del planeta, su utilidad es limitada y requiere instalaciones costosas.

## 3. INTERCAMBIO CON BOMBAS DE CALOR

Tras dos siglos de despilfarro de los recursos energéticos acumulados por la naturaleza, como los combustibles fósiles, es preciso un drástico cambio hacia un uso equilibrado de la energía por el hombre. El almacenamiento y gestión adecuada de una energía abundante y barata, como es la solar, junto al desarrollo de métodos de coste razonable para su implantación en la construcción, son herramientas necesarias y accesibles a corto plazo. Así, la acumulación geotérmica y en materiales de cambio de fase, la generación y almacenamiento de hidrógeno y el empleo de elementos de conversión electroquímica directa como las pilas de combustible, el control de permeabilidad térmica en los cerramientos, la captura fotovoltaica con elementos poliméricos o recubrimientos de capa fina, etc. son técnicas a emplear de forma conjunta para acceder a un nuevo concepto de la energía en el sector residencial.



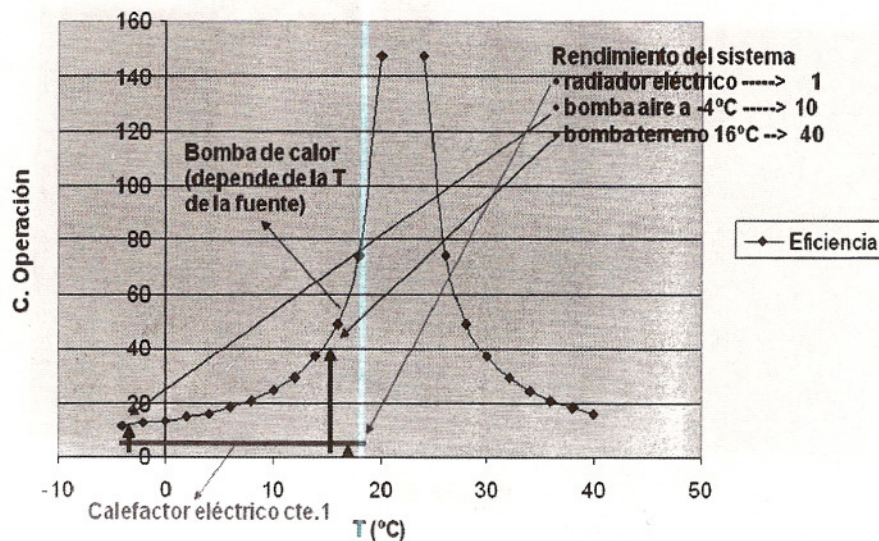
**Figura 5.**

La temperatura del terreno a poca profundidad o "temperatura de bodega" se aproxima a la temperatura promedio del aire en la zona a lo largo del año. Según datos obtenidos en nuestro laboratorio de Arganda, próximo a Madrid, es de unos 15 °C, algo inferior por tanto a la temperatura de confort para una vivienda. La conductividad térmica relativamente baja del terreno, unida a la gran masa afectada, aportan una enorme inercia con ligeras variaciones en su temperatura a lo largo del año.

En los últimos años se ha generalizado el uso de la estabilidad en la temperatura superficial del terreno como intercambiador primario en una bomba de calor con el consiguiente incremento de la eficiencia termodinámica para calefacción durante el invierno y la posibilidad de refrigeración directa durante el verano. La Fig. 6 muestra la variación del coeficiente de operación o rendimiento de una bomba de calor ideal en función de la temperatura del intercambiador primario, con secundario a la temperatura de confort de 22 °C en el interior de la vivienda. Ello supone un incremento notable de la eficiencia energética del sistema frente al uso directo de la energía eléctrica para calefacción por efecto Joule en un radiador; aunque también en comparación con el uso del aire ambiente como intercambiador primario en los sistemas convencionales de climatización.

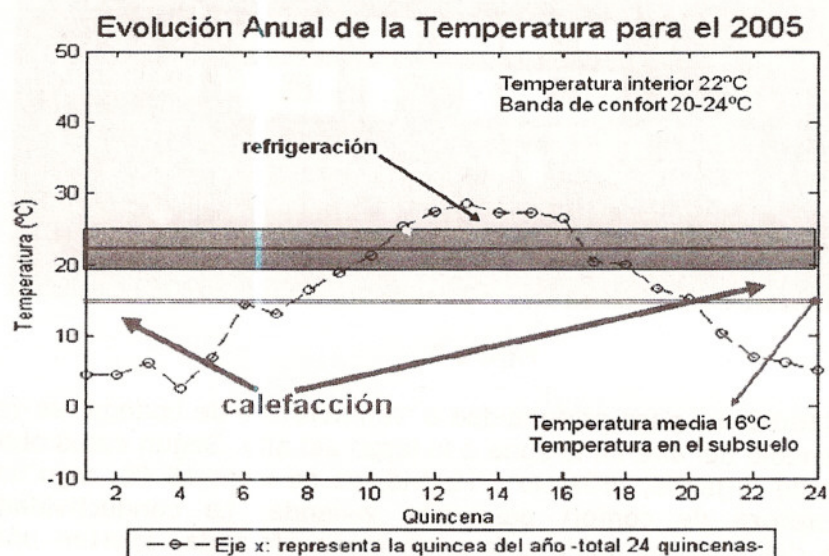
La figura muestra el rendimiento teórico o coeficiente de operación para una bomba de calor en función del salto térmico entre el intercambiador primario y el secundario.

**Coeficiente de operación de una bomba de calor en una casa a 22°C**



**Figura 6.**

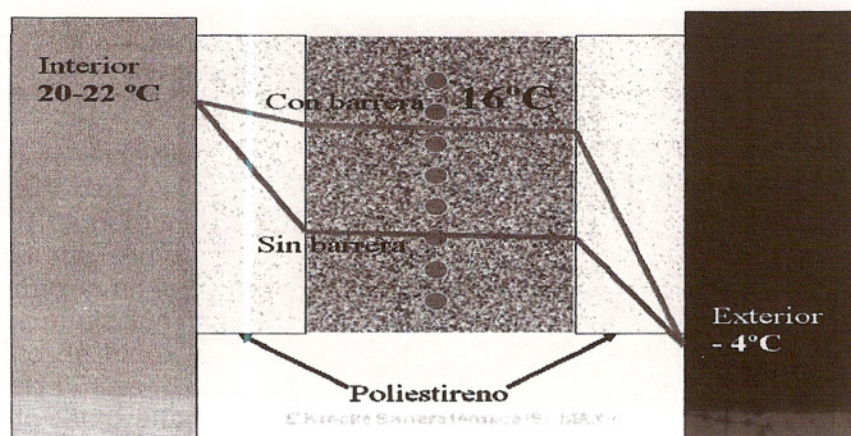
Si el calor extraído del subsuelo durante el invierno fuese equivalente al aportado en verano, existiría estabilidad térmica en la acumulación. En nuestro clima, esto no se produce, tal como muestra la Fig. 7, donde el calor extraído anualmente es claramente superior al introducido en el terreno.



**Figura 7.**

El balance neto del intercambiador es claramente negativo, ya que se extrae más calor del que se inyecta, lo que supone un enfriamiento progresivo del entorno próximo al intercambiador primario de la bomba. Si no existe un fenómeno que compense estas pérdidas, tal como una corriente subterránea en el nivel freático, se produce una deriva acumulativa de la temperatura en inviernos consecutivos hacia temperaturas más bajas en el subsuelo. Este hecho aumenta el salto térmico de la bomba en calefacción y, por tanto, disminuye su rendimiento.

El ingeniero luxemburgués E. Krecke aporta dos interesantes ideas integradas en su propuesta ISOMAX. La primera consiste en la generación de una superficie de temperatura controlada (barrera térmica®) entre dos capas aislantes sobre la envolvente del edificio. Esto permite el control del flujo de calor a través de muros y cubiertas utilizando de forma eficaz la temperatura del subsuelo que no puede ser utilizada directamente para calefacción en el interior del edificio. Así, la gran cantidad de calor acumulada en nuestro clima como "temperatura de bodega" es empleada en forma sencilla y eficiente para controlar las pérdidas por transmisión en la envolvente de la construcción.



**Figura 8.**

La segunda idea consiste en la captura directa bajo cubierta de la energía solar y su almacenamiento selectivo en zonas determinadas del subsuelo. Esta técnica prescinde de la captura de los paneles solares térmicos convencionales, que son sustituidos por un simple tubo que circula directamente bajo la teja, pizarra o cualquier otro elemento utilizado como capa superior en la cubierta.

La acumulación selectiva de la energía solar recibida se realiza en este caso directamente en el suelo sin el empleo de los depósitos de agua aislados habituales. La capacidad de acumulación vendrá dada por el calor específico y la masa del material utilizado como tanque. Si bien la densidad de suelo es variable y usualmente algo inferior a la del agua, la densidad del terreno es superior, por lo que la densidad de energía por unidad de volumen es de orden parecido. Con esta técnica se evita por completo la necesidad de construcción y mantenimiento de tanques líquidos, quedando reducido el "geotank" al volumen próximo a los tubos enterrados bajo o en las proximidades del edificio.

Si bien la densidad de acumulación de calor en relación al volumen no se ve afectada en forma notable por la naturaleza del material que constituye el terreno, ni incluso del agua, la conductividad térmica sí varía en gran medida de unos materiales a otros. Ambos hechos favorecen el esquema planteado en cuanto a acumulación directa en el subsuelo y compartimentación según diferentes temperaturas, adecuadas a la refrigeración, calefacción o agua caliente necesarias al edificio.

#### 4. ACUMULACIÓN SOLAR SELECTIVA

Según datos del IDAE, el consumo de energía promedio en una vivienda española está próximo a los 100 kWh/m<sup>2</sup>año, de los cuales el 70% se dedica a usos térmicos directos (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria), mientras que el 30% restante es para el resto (iluminación, electrodomésticos, comunicaciones, etc.). Estas necesidades de energía para aplicación residencial contrastan favorablemente con la energía recibida por radiación solar directa sobre la Península Ibérica, con una densidad promedio unas quince veces superior a las que requiere el interior de un edificio. La facilidad con que se captura esta energía mediante sistemas eficaces, sencillos y a coste razonable es un factor positivo para su aplicación.

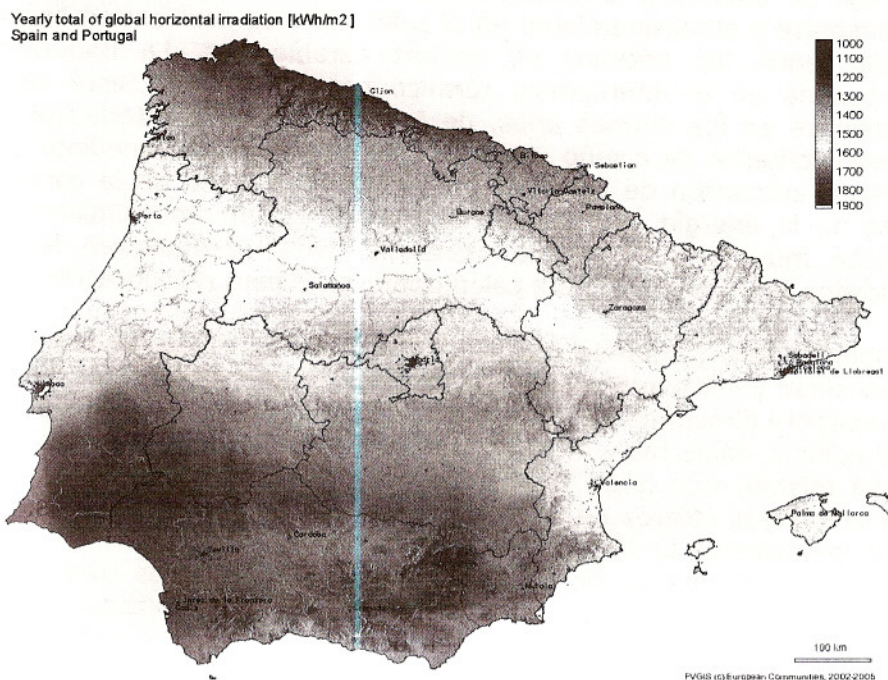
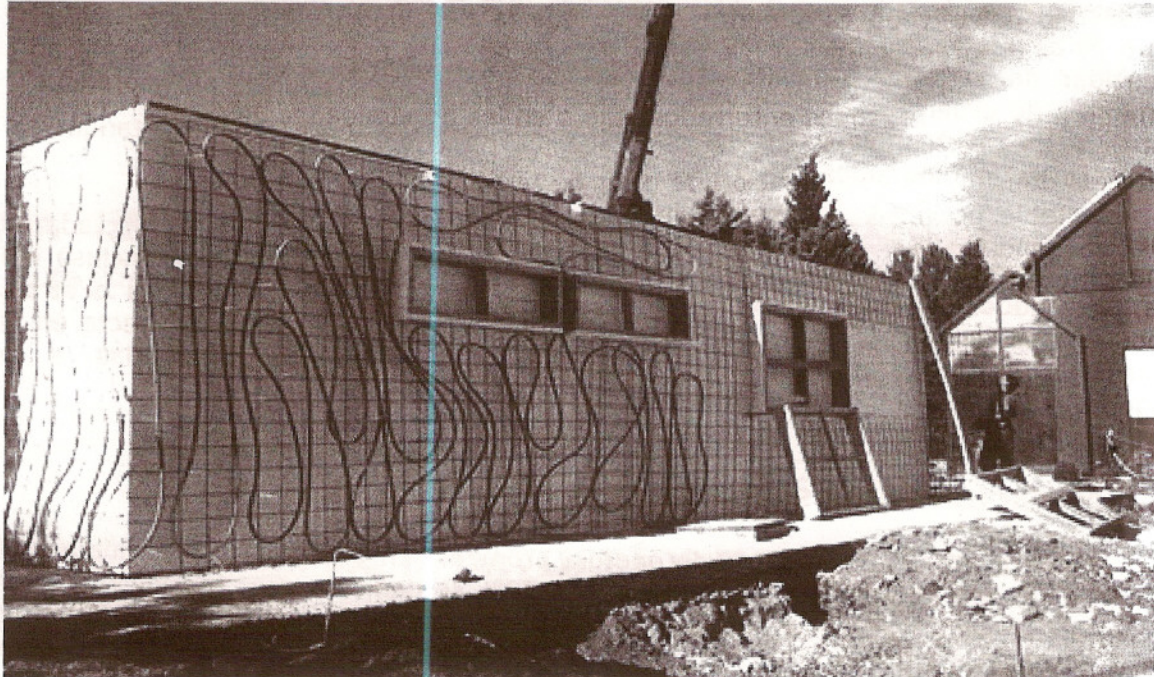


Figura 9.

Este tipo de viviendas se denominan "Viviendas de Energía Cero" y, básicamente, se definen como aquellas construcciones que consumen la misma energía que generan, presentando un balance de energía global inferior a 15 kWh/m<sup>2</sup>año según definición del Instituto Fraunhofer alemán. Ahora bien, una vivienda de consumo cero es también un emisor cero de contaminantes, y su impacto en el medio será mínimo. La experiencia en las viviendas construidas indica que no tienen por qué ser más caras que lo usual y, si el diseño es el adecuado, su nivel de confort es igual o superior al de una residencia convencional. Este planteamiento puede ser aplicable no sólo a viviendas unifamiliares aisladas sino también a viviendas en edificaciones de varias alturas.



**Figura 10.** Prototipo de vivienda de consumo cero en el CSIC en Arganda (Madrid).

La perspectiva se basa precisamente en cubrir el salto de la gestión racional de la energía desde unos principios físicos fundamentales a su aplicación integrada dentro del proceso constructivo. Así, se atiende a la energía solar térmica recibida durante el día en el edificio, su transporte y almacenamiento en el subsuelo y su dosificación hacia el interior de la vivienda según los criterios de confort establecidos. La importancia de la climatización basada en el intercambio térmico con el subsuelo está cobrando una especial importancia en los últimos años, de forma que las características del terreno apuntan a nuevos criterios de diseño y crecimiento urbano en el inmediato futuro, junto a los métodos de extracción de calor en cada caso. El empleo de la corteza terrestre como almacén de la energía captada en el exterior es un procedimiento de enorme capacidad, coste muy bajo y elevada eficiencia, como demuestran los numerosos trabajos publicados al efecto tanto para calefacción como para refrigeración.

Este intercambio de energía puede realizarse mediante un fluido, usualmente el agua, que, por su densidad y calor específico, es capaz de mayor capacidad de transporte, o el aire, que se incorpora directamente a la ventilación del interior. La utilización de la propia estructura del edificio, cubiertas y muros, como superficie capaz de captura de la energía solar tiene, así mismo, una larga trayectoria, desde los muros Trombe a los tejados formados por colectores solares de muy diversos materiales y estructuras. Ha quedado sobradamente demostrada la eficacia de muchos de estos sistemas en los resultados teóricos, en ensayos de laboratorio y en prototipos de habitáculos construidos para su demostración; aunque ninguno de estos sistemas ha monopolizado en exclusiva ni siquiera ha logrado una difusión de carácter general, como corresponde a la valiosa aportación potencial, a la demanda energética de la sociedad.





**Figura 11.** Intercambiador geotérmico del prototipo de vivienda de consumo cero en el campus del CSIC en Arganda (Madrid).

## 5. CONCLUSIÓN

Se precisa una arquitectura más razonable en el uso de la energía, orientada a la recuperación de las emisiones residuales del propio edificio, de la actividad de sus habitantes y de las máquinas y sistemas que alberga. Esto podría reducir notablemente el consumo de energía eléctrica o química hoy día necesaria, pudiéndose incluso plantear circuitos de energía, agua y residuos casi cerrados en un esquema de autosuficiencia que necesariamente hemos de exigir al ecosistema global en el planeta Tierra.

La perspectiva se basa precisamente en cubrir el salto desde la gestión racional de la energía desde unos principios físicos fundamentales a su aplicación integrada dentro del proceso constructivo. Así se atiende a la energía solar térmica recibida durante el día en el edificio, su transporte y almacenamiento en el subsuelo y su dosificación hacia el interior de la vivienda según los criterios de confort establecidos. La importancia de la climatización basada en el intercambio térmico con el subsuelo está cobrando una especial importancia en los últimos años, de forma que las características del terreno apuntan a nuevos criterios de diseño y crecimiento urbano en el inmediato futuro junto a los métodos de extracción de calor en cada caso. El empleo de la corteza terrestre como almacén de la energía captada en el exterior es un procedimiento de enorme capacidad, coste muy bajo y elevada eficiencia, como demuestran los numerosos trabajos publicados al efecto tanto para calefacción como para refrigeración.

## 6. AGRADECIMIENTOS

En el intento de mejorar la eficiencia energética de nuestros esquemas de construcción y uso de la energía se colabora estrechamente en diversos proyectos con la Fundación Europea TSW para desarrollo de la construcción solar, la empresa Geosolmax, el grupo TISE de la ETSA-UPM, el ITECC del CSIC, a las empresas CAMAC, Dragados y Drace y otros muchos centros de investigación y empresas de dentro y fuera de nuestro país a los que agradecemos su trabajo, entusiasmo, ideas y ayuda. En particular al proyecto INVISIO de carácter singular y estratégico del MEC que subvenciona una parte del trabajo y a EXPO Zaragoza que ha creído y financiado la continuación de este desarrollo con el prototipo de vivienda para su plaza temática OIKOS.

## Referencias

- MILLER, T. "Living in the Environment" 2005.
- SANNER, B. "A different approach to shallow geothermal energy: Underground Thermal Energy Storage (UTES)" Institute of Applied Geosciences, Justus-Liebig-University Diezstrasse 15, D-35390 Giessen, Germany 2001.
- BAKEMA, G., SNIJDERS, A. & NORDELL, B. (eds.) (1995): Underground Thermal Energy Storage, State of the Art 1994. - 83 p., IEA ECES Annex 8, IF Technology, Arnhem.
- IEA (1991): Workshop on Generic Configurations of Seasonal Cold Storage Applications. -Proc.: Chant, V. (ed.), Hickling, Ottawa, IEA-restricted.
- SANNER, B., KLUGESCHIED, M., KNOBLICH, K. & GONKA, T. (1996): Saisonale Kältespeicherung im Erdreich. - Giessener Geologische Schriften 59, 181 p., Giessen.
- SANNER, B. & STILES, L. (1997): Status of seasonal cold storage in ground source heat pumps. - Proc. MEGASTOCK 97, S. 13-18, Sapporo.
- SANNER, B. (ed.) (1999): High Temperature Underground Thermal Energy Storage, State-of-the- art and Prospects. - Giessener Geologische Schriften 67, 158 p., Giessen.
- SEIWALD, H., HAHNE, E. & REUSS, M. (1999): Underground seasonal heat storage for a solar heating system in Neckarsulm/Germany. - Bull. Hydrogeol. 17 (Proc. EGC Basel 99), p. 349- 357, Peter Lang SA, Neuchatel/Bern.