

# La tierra como acondicionador de aire

*Hacia un uso más racional y eficiente de la Energía*

L. Iannelli<sup>1,2</sup>, J. Fiora<sup>3</sup> y S. Gil<sup>1,2,a</sup>

Lunes 06 de mayo de 2013 – Enviado a Petrotecnia

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Martín, Escuela de Ciencia y Tecnología – Campus Miguelete – Martín de Irigoyen 3100 – San Martín, Provincia de Buenos Aires. (1650) Argentina

<sup>2</sup> Gerencia de Distribución – ENARGAS - Suipacha 636 – C.A.B.A. (1008) Argentina

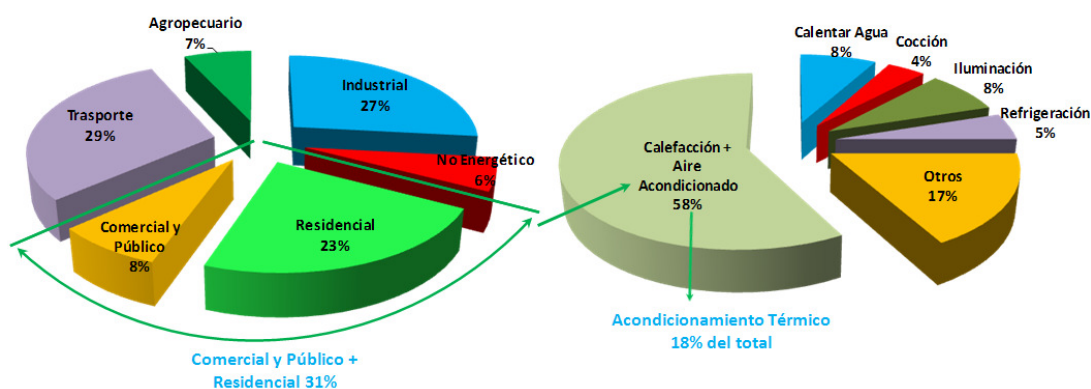
<sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) – Energía – Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41, San Martín, Provincia de Buenos Aires – (1650) – Argentina

<sup>a</sup> [sgil@energias.gov.ar](mailto:sgil@energias.gov.ar)

**Resumen:** En Argentina aproximadamente el 31% de la energía que se consume se utiliza en viviendas y edificios. Cerca de la mitad de esta energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes. A unos pocos metros de la superficie, la temperatura del suelo es muy estable todo el año y próxima a unos  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , temperatura muy cercana a la de confort. Con sistemas muy simples, es posible aprovechar este reservorio térmico para construir un acondicionador de aire natural, que reduce el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, efectivo tanto en invierno (calefacción) como en verano (aire acondicionado). Además de las ventajas medioambientales, su utilización puede ser un aporte interesante para disminuir nuestras importaciones de energía, preservar nuestros recursos naturales y estimular desarrollo sustentable.

*“La energía más limpia y barata, es la que nunca se usa”*

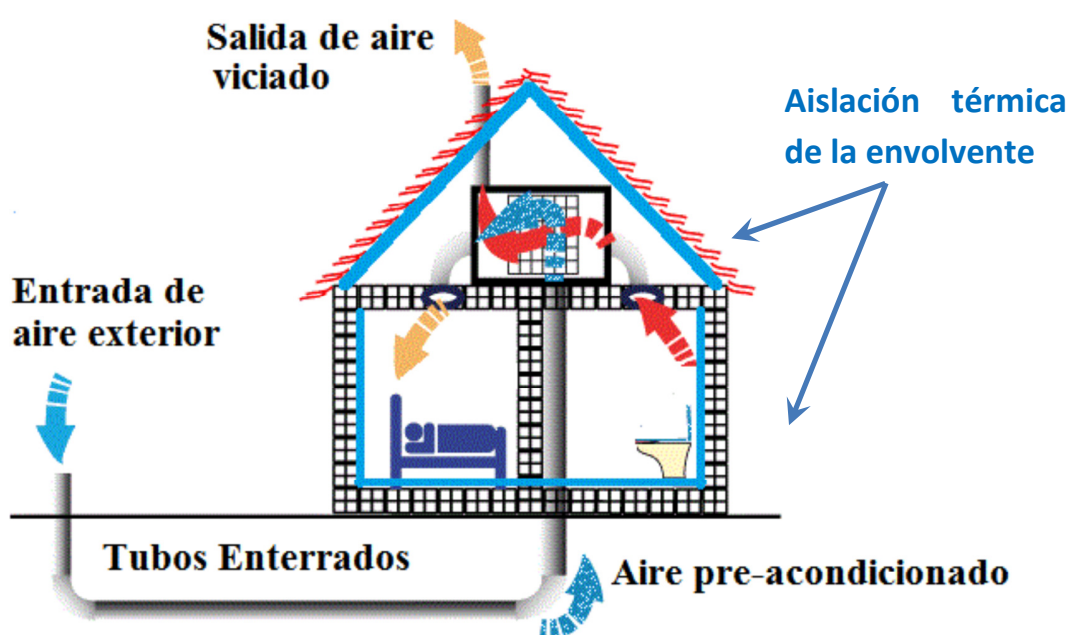
**Introducción:** Uno de los grandes desafíos del siglo XXI es satisfacer las crecientes demandas de energía del mundo, haciendo accesible a vastos sectores sociales de bajos recursos los beneficios que la energía nos brinda, y al mismo tiempo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)<sup>1,2</sup>. Hay evidencias cada vez más claras de que el calentamiento global que está experimentando la Tierra, tiene causas antropogénicas. Por lo tanto, es necesario que disminuyamos nuestras emisiones de GEI y hagamos un uso más racional y eficiente de la energía<sup>1,2</sup>.



**Figura 1.** Usos de la energía en Argentina. Aproximadamente el 18% del total de la energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes (calefacción y aire acondicionado). Fuente Secretaría de Energía de la Nación (2010).<sup>3</sup>

El problema energético no es solo un problema de oferta, es decir de buscar nuevas fuentes energéticas que satisfagan la demanda. La demanda en sí misma es un aspecto importante que debe ser analizado críticamente. El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) ha demostrado ser una herramienta muy útil para optimizar el uso de la energía y disminuir las emisiones de GEI.

En Argentina, el consumo de energía en edificios (residenciales, instalaciones comerciales y públicas) es de aproximadamente el 31% del total. De este consumo, alrededor del 58% se usa en viviendas para acondicionamiento de aire, calefacción y refrigeración. Por lo tanto, alrededor del 18% del consumo energético total del país, se emplea en acondicionamiento térmico de interiores.<sup>2</sup>



**Figura 2.** Esquema de vivienda con tubos enterrados para el acondicionamiento térmico de ambientes utilizando la energía de la tierra como intercambiador de calor. Es necesario una adecuada aislación térmica de la vivienda.<sup>4,6,7</sup>

Debido a su alta capacidad calorífica y baja conductividad térmica, la tierra se comporta como un gran colector y acumulador de energía. Su baja conductividad térmica hace que la penetración del calor en el suelo sea muy lenta, al igual que su enfriamiento. El terreno actúa como un gran termostato. Si alguna vez ha visitado una cueva, quizás habrá notado que su interior parece “refrigerado”. Lo que ocurre es que la temperatura en el interior de la cueva es cercana a la media anual, por esta razón las cuevas parecen frescas en verano y cálidas en invierno.

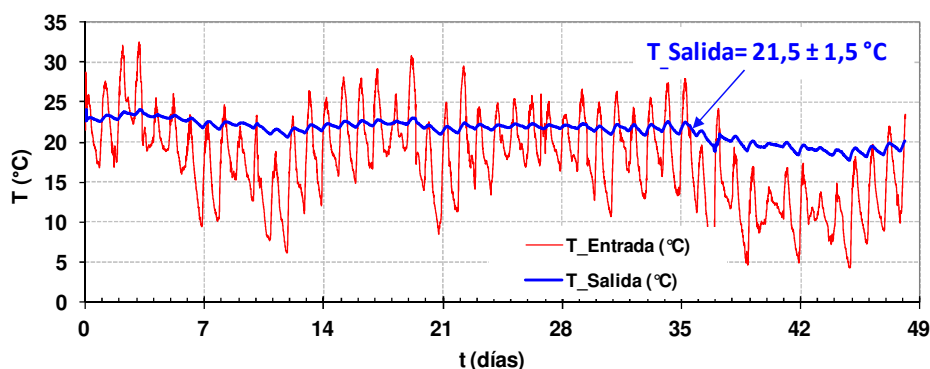
Las propiedades térmicas del suelo hacen que las variaciones diurnas de la temperatura penetren hasta unos 0,5 m. Más allá de estas profundidades, la temperatura de la tierra se mantiene prácticamente constante todo el año. El valor de esta temperatura es generalmente igual al valor medio de la

temperatura anual en la superficie. En el caso de la zona central y norte de Argentina, esta temperatura es del orden de  $19 \pm 2^\circ\text{C}$ , muy próxima a la temperatura de confort a lo largo de todo el año.

Haciendo circular el aire a través de tubos enterrados, antes de llegar al interior de los edificios y viviendas, la tierra puede utilizarse como sistema de acondicionamiento térmico natural del aire, con el consecuente ahorro de energía y disminución de emisiones de GEI.<sup>4,5,6</sup> Un ejemplo de su utilización se ilustra esquemáticamente en la Fig. 2.

Estas propiedades térmicas del suelo no son nuevas, ellas se han usado por siglos en bodegas de almacenamiento de alimentos, en viviendas subterráneas como en las Ruinas de Quilmes del siglo XV, en el Valle Calchaquí, Tucumán, Argentina, en muchos lugares de la costa mediterránea y en el norte de África.<sup>7,4</sup> De hecho, nuestros antepasados pudieron sobrevivir varios periodos de glaciaciones de la Tierra, utilizando las cavernas como refugios térmicos adecuados.

En una colaboración entre: ENARGAS, INTI y la UNSAM, se realizó un estudio para caracterizar las propiedades térmicas del suelo y explorar la potencialidad del uso de tubos enterrados como medio de acondicionamiento térmico de ambientes.<sup>8,9</sup> Para que este esquema de acondicionamiento de aire sea adecuado para una vivienda, es necesario que se minimicen las pérdidas de calor en las paredes y techos. Es decir, la vivienda debe tener condiciones de aislación térmica adecuada. Los materiales de construcción modernos y las normas vigentes, permiten lograr este objetivo sin grandes gastos, sobre todo en viviendas nuevas.



**Figura 3.** Temperaturas de entrada del aire al tubo (curva roja) y a la salida del mismo (curva azul), pre-acondicionado. Los registros térmicos se obtuvieron en forma horaria a lo largo de 49 días desde el 16 de marzo de 2012 hasta el 4 de mayo del mismo año. Se observa que la temperatura de salida del tubo oscila entre  $20^\circ\text{C}$  y  $23^\circ\text{C}$ .

Entre el 16 de marzo de 2012 y el 4 de mayo del mismo año, se realizó un ensayo preliminar, en la CasaE,<sup>10</sup> que la Empresa BASF tiene en Tortuguitas, Buenos Aires, Argentina. En este caso, el tubo tenía 20 cm de diámetro y unos 75 m de longitud y estaba ubicado a 2 m de profundidad. Con el aire fluyendo a una

velocidad de aproximadamente 5 m/s, se obtuvieron los resultados indicados en la Fig. 3. El flujo de aire es de aproximadamente 550 m<sup>3</sup>/h, suficiente para lograr 3,3 renovaciones del aire por hora en una vivienda de 65 m<sup>2</sup>. Se observa que la temperatura de salida es casi constante, aún en periodos en los que la temperatura ambiente está todo el día por debajo del valor medio. La temperatura de salida del aire siempre se mantiene entre 20°C y 23°C, que es un rango de temperatura de confort.

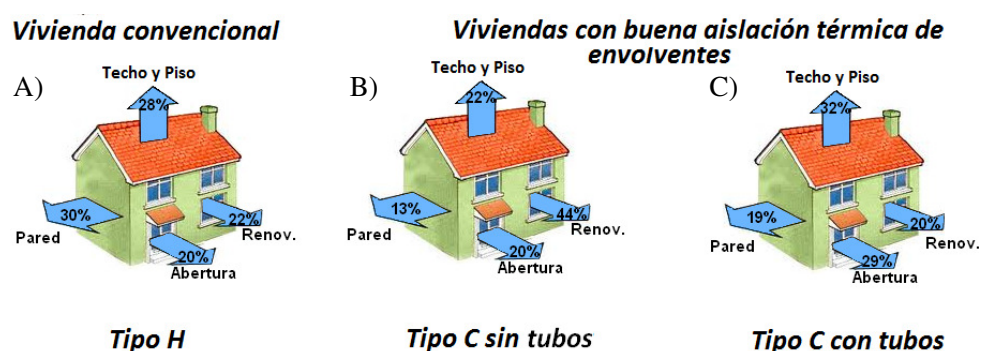
Los sistemas geotérmicos se usan, por lo general, en combinación con bombas de calor, una especie de acondicionador frío-calor de gran eficiencia energética. De este modo la tierra actúa como un pre-acondicionador de aire, útil tanto en verano como en invierno.

### **Consumo de energía en una vivienda**

Para mantener una vivienda a una determinada temperatura de confort, en el caso de calefacción, debemos generar tanto calor como el que se pierde por las distintas componentes o procesos que ocurren en la vivienda. Una situación análoga ocurre con la refrigeración, solo que las pérdidas deben ser compensadas con enfriamiento. Las pérdidas de energía se producen en las paredes, techos, aberturas, piso, etc. y las renovaciones de aire son necesarias para la salubridad y confort de la vivienda. Asimismo se deben computar los aportes calóricos del asoleamiento. En una vivienda la transmisión de calor que ocurre por la envolvente, depende críticamente de la calidad de los materiales utilizados y tipos de aberturas. Dado que las características de la envolvente se pueden determinar por un sistema de etiquetado, Norma IRAM 11900,<sup>11</sup> se puede utilizar las distintas categorías de etiquetado para clasificar el tipo de transmisión en la envolvente. La categoría *H*, con muy poca aislación térmica, corresponde al tipo de vivienda predominante en el país. La categoría *C* tiene mejor aislación térmica con los materiales disponibles en el mercado local. Trabajando con estas dos categorías de viviendas, presentamos los resultados de los potenciales ahorros de energía que podrían lograrse usando tubos enterrados en la región central de Argentina. Los aportes por asoleamiento, dependen críticamente del diseño, y por esta complejidad, no serán considerados por el momento, aunque su importancia es crucial y puede aportar significativamente al aumento de los potenciales ahorros de energía en una vivienda.

En la Fig. 4 muestra una vivienda esquemática, *Tipo H* (con poca aislación térmica) y *Tipo C* (con mejor aislación térmica), sin tubos y con tubos enterrados, con los porcentajes de pérdidas en sus distintos componentes. Estos valores son aproximados y sirven para tener idea de los órdenes de magnitud involucrados en estas pérdidas.

Si las renovaciones de aire se realizan utilizando el aire que pasa por un sistema geotérmico de tubos enterrados, el ahorro de energía se producirá fundamentalmente en este intercambio de energía. Si bien es una sobre simplificación, esta hipótesis sirve para estimar el ahorro mínimo que puede lograrse con este sistema de tubos enterrados.



**Figura 4.** Porcentaje de pérdida de calor por techo y piso, pared, aberturas (ventanas y puertas) y renovación de aire en viviendas. A) Vivienda convencional B) y C) Viviendas con buena aislación térmica de envolventes, sin tubos y con tubos enterrados, respectivamente.

En la Tabla 1 se indican los consumos típicos de energía para cuatro prototipos esquemáticos planteados. Lo significativo de esta tabla es que el aporte de tubos enterrados a una vivienda con poca aislación, sería muy modesto (15%) y quizás no compensara su costo de instalación. En cambio en una vivienda con una aislación térmica mejor (Tipo C), los ahorros de energía, respecto de la misma vivienda (Tipo H) tomada como referencia, son muy significativos, del orden del 64%. En síntesis, los tubos enterrados deben combinarse con una vivienda con buena aislación térmica de su envolvente.

Vivienda	Comentario	Calefacción [kWh/año]	Refrigeración [kWh/año]	Total [kWh/año]	Ahorro %
Tipo H (sin Tubos)	Poca aislación térmica	9.958	2.628	12.586	0%
Tipo H (con Tubos)	Poca aislación térmica	8.484	2.239	10.723	15%
Tipo C (sin tubos)	Buena Aislación	5.020	1.325	6.345	50%
Tipo C (con tubos)	Buena Aislación	3.546	936	4.482	64%

**Tabla 1.** Consumos de energía para calefacción y refrigeración de cuatro tipos de viviendas consideradas esquemáticamente.

## Conclusiones

Este trabajo ilustra la potencialidad de los tubos enterrados como sistema efectivo para reducir los consumos de energía para acondicionamiento térmico de ambientes, tanto de calefacción como de refrigeración, y se comprueba que su efectividad puede extenderse a un amplio rango de la geografía Argentina. La reducción en el uso de la energía, en particular, aquella proveniente de combustibles fósiles, generaría una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estimaciones preliminares sugieren que los

ahorros de energía que podrían lograrse en la zona central de Argentina son del orden del 60%, si se combinan con una adecuada aislación térmica de la envolvente. En este país, el consumo de energía para acondicionamiento de ambientes es del orden del 18% del consumo total. Por lo tanto, el impacto que podría tener este tipo de sistemas en el consumo de energía, es muy significativo y de mucha efectividad para reducir nuestras importaciones de gas natural.

Hay varias experiencias realizadas en el mundo utilizando esta tecnología. En Fort Polk, Luisiana, EE.UU., se instalaron 4000 viviendas familiares con este tipo de sistema de acondicionamiento de aire. Un estudio realizado por el Oak Ridge National Laboratory,<sup>12</sup> demostró que los niveles de ahorro de energía variaban entre el 25% y el 50% de sus valores previos a la instalación de este tipo de sistema. Asimismo, la técnica de tubos enterrados dio buenos resultados en varias comunidades rurales de India, de muy bajos recursos.

Los sistemas de tubos enterrados pueden usarse por sí solos o como parte de un sistema más completo y elaborado, que incluye la utilización de bombas de frío-calor, combinadas, renovadores de aire energéticamente eficientes. En todos los casos, para lograr una efectividad adecuada, se requiere de una buena aislación térmica de la envolvente de las viviendas. En su versión más simple, los sistemas de tubos enterrados podrían utilizarse en viviendas de interés social, para poblaciones de bajos recursos, combinadas con adecuada aislación térmica de envolventes.

Este tipo de sistemas de pre-acondicionamiento de aire, combinado con el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua y una adecuada aislación de las envolventes, podría reducir significativamente las emisiones de GEI y contribuir al autoabastecimiento de energía del país.

*“Las fuentes de energía renovables, tendrán poco impacto si no renovamos nuestros hábitos de consumo”*

## **Agradecimientos**

Este estudio se realizó a través de una colaboración entre la ECyT de la UNSAM, ENARGAS y el Grupo de INTI – ENERGÍA. Agradecemos al Arq. Pablo Azqueta que diseñó la CasaE, al Sr. Horacio Raiano de BASF y a la Empresa BASF Argentina por facilitarnos las instalaciones de la CasaE para realizar estas mediciones. También agradecemos al Ing. Mariano Lofiego de Rehaus S.A. Buenos Aires, por la valiosa información técnica suministrada sobre los tubos que ellos proveyeron para la CasaE.

## **Referencias**

---

<sup>1</sup> World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Fourth Assessment Report: Climate Change (2007)* <[http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index_en.html)>.

- 
- <sup>2</sup>Mastrandrea, M.D. and Schneider, S.H., Resource Letter GW-2: *Global Warming*, Am. J. Phys. 76 (7), 608-614 (2008).
- <sup>3</sup> Secretaría de Energía de la Nación Argentina. Balance Energético Nacional 2009. <<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2973>>.
- <sup>4</sup> *Arquitectura subterránea*, de Wikipedia, <[http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_subterr%C3%A1nea](http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_subterr%C3%A1nea)>.
- <sup>5</sup> *Earth Cooling Tubes*, <[http://www.energysavers.gov/your\\_home/space\\_heating\\_cooling/index.cfm/mytopic=12460](http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12460)>.
- <sup>6</sup> GirjaSharan, T. Madhavan, “*Cropping in Semi-arid Northwest India in Greenhouse with Ground Coupling Shading and Natural Ventilation for Environmental Control*,” International Journal for Service Learning in Engineering Vol. 5, No. 1, pp. 148-169, Spring 2010.
- <sup>7</sup> Ruinas de los Quilmes , de Wikipedia, <[http://es.wikipedia.org/wiki/Ruinas\\_de\\_los\\_Quilmes](http://es.wikipedia.org/wiki/Ruinas_de_los_Quilmes)>.
- <sup>8</sup> Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Ondas de Calor- Determinación de temperaturas del pasado*, - Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 82(88), March 2012 <<http://www.journal.lapen.org.mx>>.
- <sup>9</sup> Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Acondicionamiento Térmico de Aire Usando Energía Geotérmica-Ondas de Calor*, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 99(105), March 2012 <<http://www.journal.lapen.org.mx>>.
- <sup>10</sup> La Casa E de Basf Argentina, <<http://www.basf.com.ar/lacasa/>>, <[http://www.arquimaster.com.ar/especiales/nota\\_casae\\_eficiencia\\_energetica.htm](http://www.arquimaster.com.ar/especiales/nota_casae_eficiencia_energetica.htm)>.
- <sup>11</sup> NORMA IRAM 11900:2010, Clasificación Según la Transmitancia Térmica de la Envolvente, <<http://www.iram.org.ar/>>.
- <sup>12</sup> Big Savings from the World's Largest Installation of geothermal heat pumps – ORNL 1998 <<http://www.ornl.gov/sci/femp/pdfs/fortpolk.pdf>>.