

**Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013**  
**Buenos Aires, Argentina – 25, 26 y 27 de Septiembre de 2013**

**LA TIERRA COMO ACONDICIONADOR NATURAL DE AMBIENTES**

**L. M. Iannelli<sup>1,2</sup>, E. J. Bezzo<sup>2</sup>, A. Bermejo<sup>3</sup>, P. L. Cozza<sup>3</sup>, J. A. Fiora<sup>3</sup>, J. A. Niño<sup>3</sup>, R. Prieto<sup>2</sup>, P. Romero<sup>3</sup> y S. Gil<sup>1,2</sup>**

Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Escuela de Ciencia y Tecnología – Campus Miguelete – San Martín  
Provincia de Buenos Aires – CP. 1650 – Argentina – e-mail: sgil@unsam.edu.ar.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) – Energía – Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41, San Martín,  
Provincia de Buenos Aires – CP. 1650 – Argentina.

Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) – Gerencia de Distribución – Suipacha 636 – CABA – CP. C1008AAN –  
Argentina – Tel. 4325-2500 int. 1416.

**RESUMEN:** Es un desafío satisfacer las demandas de energía y disminuir los Gases de Efecto Invernadero (GEI). El calentamiento global tiene causas antropogénicas. En Argentina aproximadamente 30% de energía se consume en edificios. Casi la mitad se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes. A unos pocos metros de la superficie, en la región central de Argentina, la temperatura es muy estable todo el año y próxima a  $19,2 \pm 3^{\circ}\text{C}$  (cercana a la de confort). Este potencial puede ser explotado utilizando tubos enterrados que actúan como intercambiadores de calor con el interior de los edificios. Se realizó un estudio con un sistema de tubos enterrados en la CasaE (Empresa BASF S.A.), Buenos Aires. Con una adecuada aislación térmica de la vivienda, puede ahorrarse un 70% en calefacción y refrigeración. La utilización de este tipo de sistemas puede ser un aporte para disminuir nuestras importaciones de energía y preservar los recursos naturales.

**Palabras clave:** energía geotérmica, sistema de acondicionamiento de ambientes, ahorro energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los grandes desafíos en la actualidad 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). 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 (World Meteorological, 2007; Mastrandrea & Schneider, 2008).

El problema energético no es solo un problema de oferta, es decir de buscar nuevas fuentes energéticas que satisfagan la demanda. También la demanda misma es un desafío que debe ser analizado críticamente. De hecho, el Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE) ha demostrado ser una herramienta muy importante, no solo para optimizar el uso de la energía sino también para disminuir las emisiones de GEI. Así la eficiencia energética se ha convertido en Argentina y más activamente en el resto del mundo, en un recurso energético insoslayable.

En Argentina, el consumo de energía en edificios (residenciales, comerciales y públicos) es de aproximadamente 32% del total. De este consumo alrededor del 58% se usa 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. En los EE.UU. el consumo de energía en edificios es del 40%. Se estima que la proporción de energía usada en acondicionamiento térmico de interiores es superior al 20% de toda la energía usada en ese país. Desde luego dependiendo del tipo de clima, del tamaño, características de la construcción y prestaciones de los edificios, la fracción de energía que se usa en acondicionamiento térmico del aire interior varía de lugar a lugar, pero en general es una fracción muy significativa de la matriz energética (Mastrandrea, M. M., & Schneider, S. H., 2008). Dada la magnitud de estos consumos es preciso explorar todas las alternativas posibles para hacer un uso más racional y eficiente de los recursos energéticos disponibles y disminuir nuestras emisiones de GEI.

<sup>1</sup>Investigadores de la Escuela de Ciencia y Tecnología (ECyT) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)

<sup>2</sup>Profesionales del Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)

<sup>3</sup>Profesional del INTI

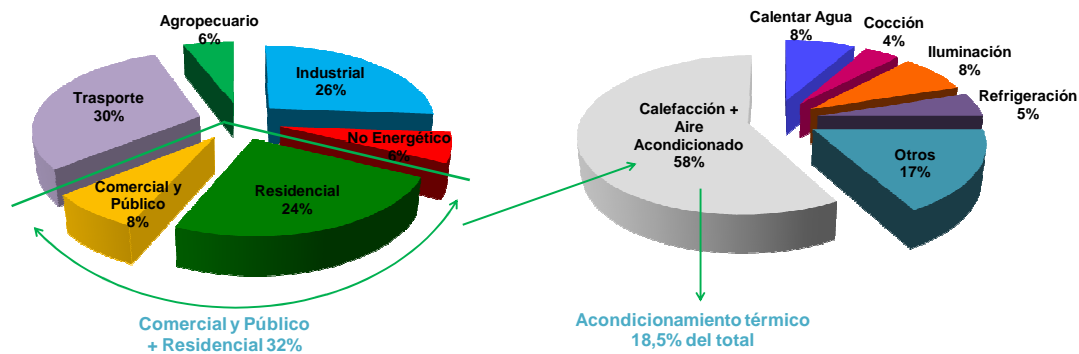


Figura 1: Usos de la energía en Argentina. Aproximadamente el 18% del total de la energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes (calefacción y aire acondicionado). Fuente: Secretaría de Energía de la Nación Argentina, 2011.

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. De hecho, el terreno actúa como un gran termostato. Si se visita una cueva, se nota que su interior parece “refrigerado”. Lo que ocurre en realidad es que la temperatura en el interior de la cueva es cercana a la temperatura media anual en esa localización geográfica. 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 no penetren más allá de 0,5 m, pero las variaciones anuales de temperatura, llegan hasta una profundidad de unos 4 m. Más allá de estas profundidades, la temperatura de la tierra se mantiene constante todo el año. Su valor es aproximadamente 1,7 °C mayor que el valor medio de la temperatura anual del aire en superficie, esta temperatura en la zona central de Argentina es aproximadamente  $18 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Lo interesante es que esta temperatura es muy próxima a la temperatura de confort a lo largo de todo el año. (Geothermal gradient, 2012).

De este modo, 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 (Arquitectura subterránea, 2012; U.S. Department of Energy, 2012; Sharan & Madhavan, 2010). El potencial térmico de la tierra puede ser explotado convenientemente utilizando dispositivos arquitectónicos y estructurales adecuados como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 2.

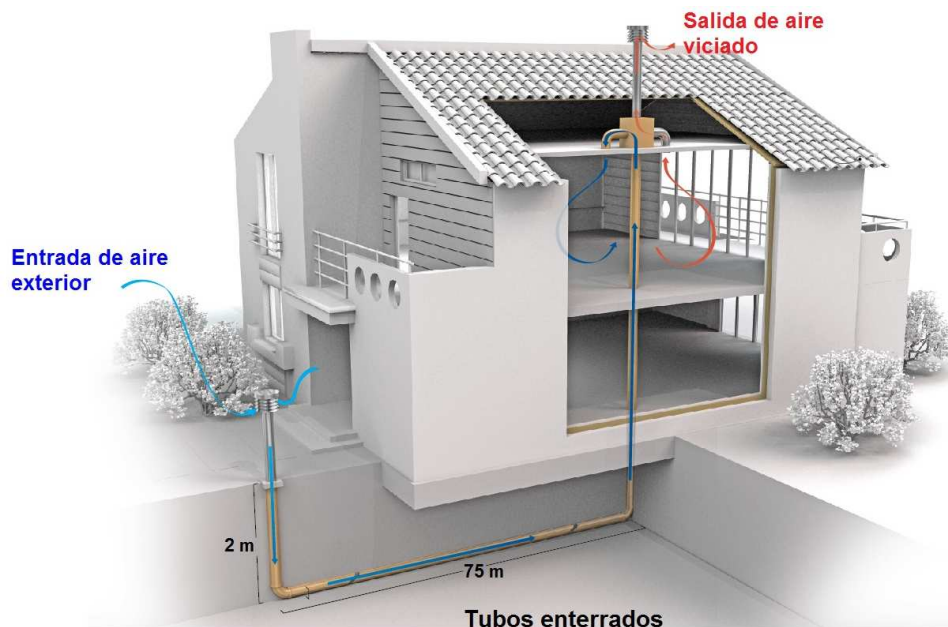


Figura 2: Esquema de vivienda con tubos enterrados para el acondicionamiento térmico de interiores utilizando la energía de la tierra como intercambiador de calor (Geothermal gradient, 2012; Arquitectura subterránea, 2012; Sharan & Madhavan, 2010).

Estas propiedades térmicas del suelo no son nuevas, ellas se han venido usando por siglos en las bodegas de almacenamiento de alimentos y en viviendas subterráneas en muchos lugares de la costa mediterránea, en el norte de África (Geothermal gradient, 2012) y en las Ruinas de Quilmes (siglo XV), Tucumán, Argentina (Ruinas de los Quilmes, 2013). De hecho, nuestros antepasados pudieron sobrevivir varios periodos de glaciaciones de la Tierra, utilizando las cavernas como refugios

térmicos adecuados. Por otro lado, los sistemas de túneles de aire en la tierra fueron y son utilizados por muchas culturas. Además, son conocidas las virtudes de las viviendas construidas en cuevas en el sur de España y Grecia, muy elogiadas por su “frescura” y “calidez”. Muchas de estas viviendas se han transformado en Boutique Hotel de esas regiones del mundo (Underground living, 2012).

A través de una colaboración establecida entre el ENARGAS, el INTI y la UNSAM, se realizó un estudio para caracterizar las propiedades térmicas del suelo en la Provincia de Buenos Aires y explorar la potencialidad del uso de tubos enterrados como medio de acondicionamiento térmico de ambientes.

## RESULTADOS

En la Fig. 3 se representan datos medidos de temperaturas a diferentes profundidades del suelo, en función del tiempo. El termómetro que se encuentra más cerca de la superficie de la tierra (curva azul) presenta mayor amplitud térmica que aquellos que están enterrados más profundamente. Se observa una atenuación de la onda térmica a medida que ésta penetra en el suelo, lo que es característico de un fenómeno difusivo, como lo es la conducción del calor. Así, la tierra actúa como un filtro paso bajo. Las frecuencias altas son atenuadas paulatinamente a medida que se penetra en la tierra. La temperatura posee un rango de variación muy amplio en los primeros centímetros de profundidad del suelo. Sin embargo, esta variación se va reduciendo conforme aumenta la profundidad. La radiación solar calienta la superficie del suelo durante el día y ésta se enfría a lo largo de la noche. De esta forma, se genera una especie de onda térmica diaria, que va penetrando en la tierra. El fenómeno de conducción de calor en el suelo se puede modelar adecuadamente usando la ecuación de difusión del calor de Fourier. Las “ondas de calor” en el suelo se propagan con una velocidad y una atenuación que dependen de la difusividad del suelo y la frecuencia de la onda (Iannelli & Gil, Ondas de Calor Determinación de temperaturas del pasado, 2012). Las ondas de mayor frecuencia se atenúan más rápidamente que las de baja frecuencia. Por esta razón, el primer termómetro muestra una oscilación mayor que los más profundos. Asimismo, los que están a mayor profundidad, muestran un retardo al llegar a su máximo, reflejando la velocidad finita de la onda una menor amplitud térmica y curvas más suaves, lo que muestra la atenuación realizada por la tierra. Las lluvias pueden producir rápidos y marcados cambios en las temperaturas superficiales del suelo. Estas desviaciones se pueden explicar por la alteración que el agua produce en la difusividad del calor en el suelo, y ocurren en los días inmediatamente después de fuertes lluvias, que claramente afectan la difusividad del terreno, pero este al cabo de un par de días se recupera y la temperatura vuelve a sus valores normales. En la Fig. 3, las precipitaciones se representan por líneas verticales de color rosa, referidas al eje vertical derecho, donde se indica la cantidad de mililitros de agua registrada en cada día.

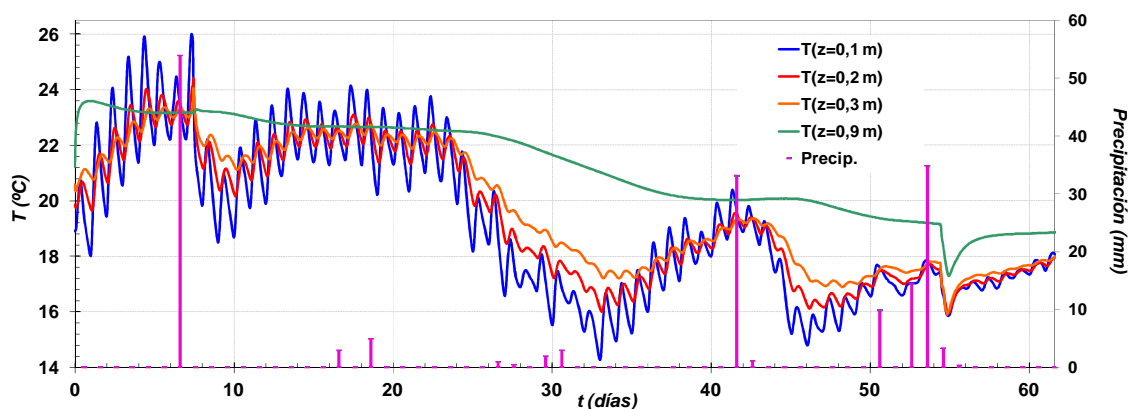


Figura 3: Temperaturas medidas a diferentes profundidades en función del tiempo. Las líneas verticales (en color rosa) indican días con precipitación y su medida (Servicio Meteorológico Nacional). Estos datos fueron obtenidos desde el día 28 de marzo de 2012 hasta el día 29 de mayo del mismo año, en el suelo del INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial).

En la Fig. 4 se muestran las temperaturas medidas a diferentes profundidades del suelo del INTI tomadas a lo largo de un año, a partir del día 28 de marzo de 2012. Se observan también los ajustes logrados con la aplicación de un modelo teórico. Como se ve, el modelo reproduce en general el comportamiento de los datos medidos a diferentes profundidades del suelo. La temperatura del suelo, aproximadamente 1 m de profundidad, se mantiene entre los  $19,8 \pm 5,5$  °C durante todo el año, temperatura que puede ser utilizada para la climatización de edificios tanto en invierno como en verano. En la leyenda del gráfico, la letra *T* representa las temperaturas medidas y *z* las temperaturas halladas mediante cálculo.

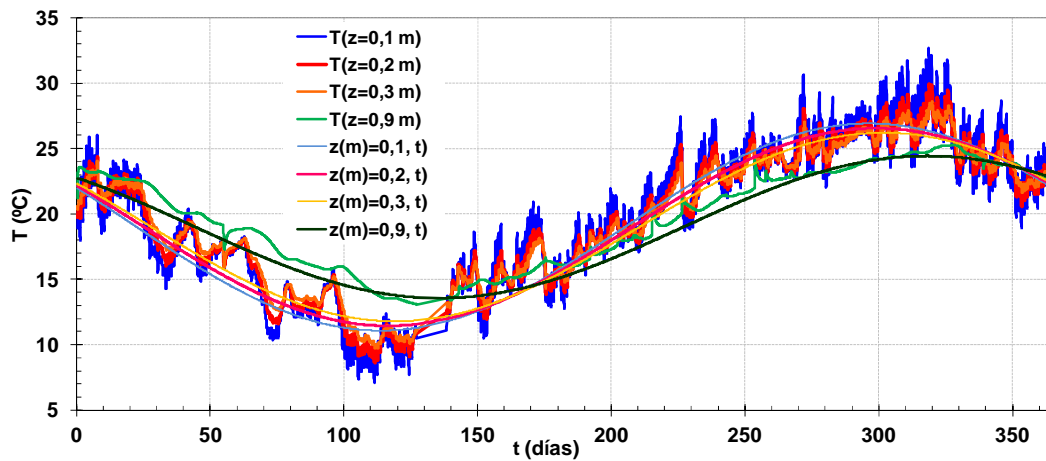


Figura 4: Temperaturas medidas ( $T$ ) y modeladas teóricamente ( $z$ ) a diferentes profundidades en función del tiempo. Estos datos fueron obtenidos desde el día 28 de marzo de 2012 hasta el día 28 de marzo del siguiente año (un año), en el suelo del INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial).

A partir del ajuste de los datos experimentales con el modelo teórico, se hizo un análisis de las temperaturas a diferentes profundidades del suelo en verano (enero) y en invierno (julio). Desde luego, estas propiedades pueden variar de un lugar a otro dependiendo de las propiedades del suelo, pero en general tienen un perfil similar al que se muestra en la Fig. 5. A más de 4 m de profundidad la temperatura se mantiene constante, cercana a la de confort.

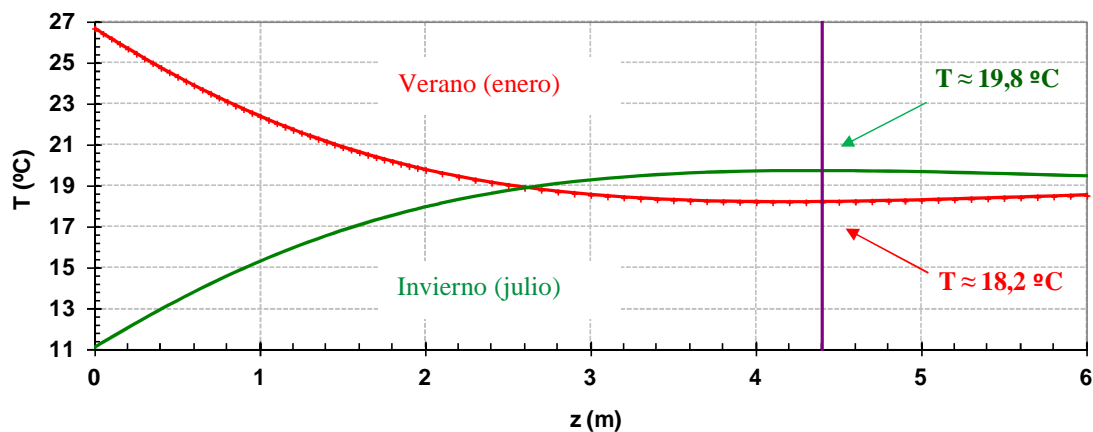


Figura 5: Variación de la temperatura del suelo a distintas profundidades en las adyacencias de la ciudad de Buenos Aires, en el invierno (curva verde) y en el verano (curva roja). La línea de color violeta corresponde a la posición de los puntos de inversión de las temperaturas.

La Fig. 5 muestra la variación de la temperatura en función de la profundidad  $z$  de la onda de calor en la Tierra generada por la variación anual de la temperatura, para dos meses del año, enero (verano) y julio (invierno). En la figura se puede observar que en Buenos Aires y regiones aledañas, a una profundidad de aproximadamente 4 m, indicado en la misma figura con la línea de color violeta, en invierno puede haber una temperatura de 19,8 °C y en verano una temperatura de 18,2 °C. En otras palabras, a esta profundidad se produce una inversión térmica; la temperatura es más alta que el promedio de temperatura ambiente en invierno y más baja que el promedio de temperatura ambiente en verano. Por consiguiente, esta es la profundidad óptima donde sería conveniente enterrar los tubos para optimizar el intercambio térmico con los ambientes interiores. Sin embargo, si se colocan los tubos a profundidad de 2 m, ya pueden lograrse los efectos buscados. La ventaja de colocar los tubos enterrados a 2 m es que se disminuyen los costos de instalación.

También es necesario disponer de tubos de un diámetro y longitud adecuada, para que a una dada velocidad de movimiento del aire, se logre llegar a un equilibrio con la temperatura del terreno. Desde luego, para que este esquema de acondicionamiento de aire sea adecuado para un edificio, es necesario que se minimicen las pérdidas de calor, por lo tanto, que el edificio tenga condiciones de aislación térmicas adecuadas.

Una vez caracterizadas las propiedades térmicas del suelo, entre el 16 de marzo de 2012 y el 16 de marzo del siguiente año (un año) se realizó un ensayo preliminar, en la Casa E (BASF The Chemical Company, 2009), que la Empresa BASF Argentina tiene en Tortuguitas, Buenos Aires. Se utilizó un tubo de policloruro de vinilo (PVC), con 20 cm de diámetro y unos 75 m de longitud y 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. 6. El flujo de aire fue aproximadamente de 550 m<sup>3</sup>/h, suficiente para lograr 3,3 renovaciones del aire por hora en una vivienda de 83 m<sup>2</sup>. Se observó que la temperatura de salida fue casi constante, aún en períodos en que la temperatura ambiente estuvo todo el día por debajo del valor medio anual. La temperatura de salida del aire siempre se mantuvo entre 16°C y 23°C, que es un rango de temperatura de confort.

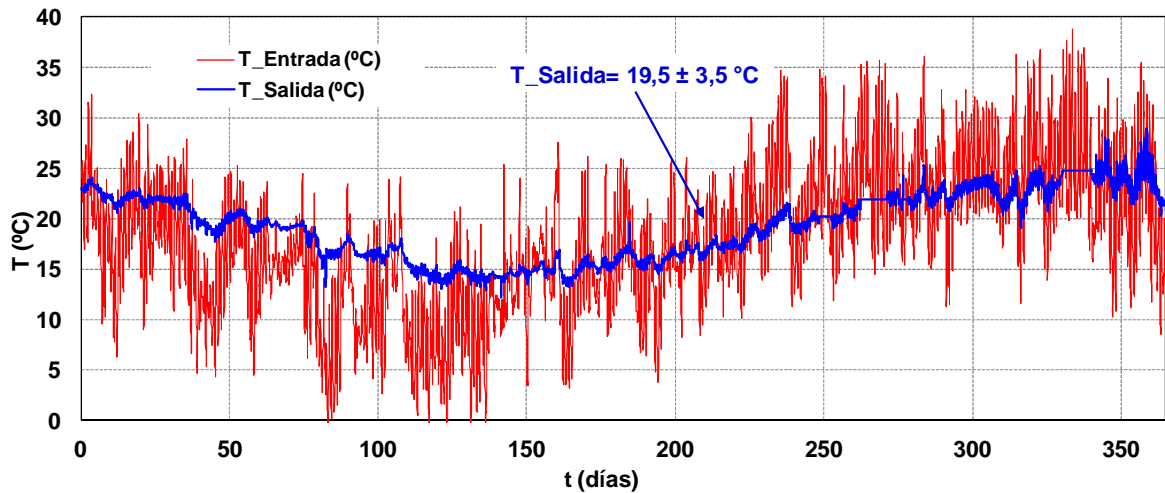


Figura 6: Temperatura del aire a la entrada al tubo (curva roja) y temperatura a la salida del mismo (curva azul). Los registros térmicos se obtuvieron en forma horaria a lo largo de 365 días durante un año desde el 16 de marzo de 2012. Se observa que la temperatura de salida del tubo oscila entre 16°C y 23°C.

Los sistemas geotérmicos podrían utilizarse en combinación con bombas de calor (especie de acondicionador frío-calor de gran eficiencia energética). En ese caso la tierra actuaría como un pre-acondicionador de aire, útil tanto en verano como en invierno. El aire pre-acondicionado, entra en la bomba de calor, que regula la temperatura final para llevarlo a la temperatura elegida por los moradores del edificio. De este modo, en un día muy frío con temperaturas cercanas a 0°C, la temperatura del aire al ingreso de la bomba de calor ya ha sido pre-acondicionada por la tierra, y el aporte calórico que la bomba hace es mucho menor que si el aire frío entrase a la bomba directamente. Algo similar ocurre en los días muy calurosos, el aire que debe refrigerar la bomba está más próximo a la temperatura de confort que el aire exterior. De este modo, se requiere un equipo acondicionador más pequeño que el que sería necesario sin el pre-acondicionamiento producido por los tubos enterrados. Así los tubos enterrados contribuyen a reducir no solo el costo del equipo, que por ser más pequeño es más económico, sino también su consumo y el costo de la energía asociada. Está claro que los tubos enterrados por los que circula aire, pueden sustituirse por tubos de menor diámetro por los que circule agua. Como la capacidad calorífica del agua es grande, con flujos moderados de agua podría lograrse eficazmente un intercambiador de calor entre el suelo y los ambientes interiores con muy buenos resultados.

#### Estimación del factor de ahorro de energía en el acondicionamiento térmico

Un posible modelo propuesto para estimar el factor de ahorro de energía en el acondicionamiento térmico, consiste en lograr que una vivienda de volumen  $V_0$  se mantenga a una temperatura de confort, determinada por dos temperaturas de referencia:  $T_{máx}$  y  $T_{mín}$ . El objetivo de este sistema de acondicionamiento térmico consiste en disminuir a  $T_{máx}$  la temperatura del aire si está arriba de la  $T_{máx}$  (déficit grado día de refrigeración, DGD\_R) y elevar a  $T_{mín}$  la temperatura del aire si está por debajo de la  $T_{mín}$  (déficit grado día de calefacción, DGD\_C). Esto se muestra esquemáticamente en la Fig. 7.

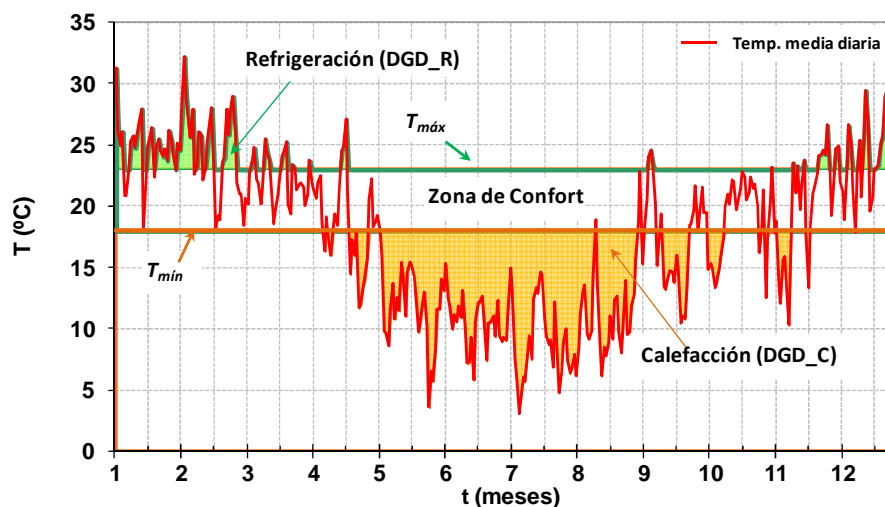


Figura 7: Temperatura media diaria a lo largo de un año, curva roja. Las líneas horizontales  $T_{máx}$  y  $T_{mín}$  delimitan la zona de confort. El área sombreada verde indica el valor del déficit grado día de refrigeración (DGD\_R). El área sombreada naranja indica el valor del déficit grado día de calefacción (DGD\_C). El mismo concepto puede aplicarse a cada día con las temperaturas horarias.

El déficit grado día de refrigeración (DGD\_R) se puede estimar como:

$$DGD\_R = \sum_{\text{Año}} (T_m(t) - T_{m\acute{a}x}) \Big|_{T(t) > T_{m\acute{a}x}}, \quad (1)$$

donde  $T_m(t)$  es la temperatura media diaria estimada,  $T_{m\acute{a}x}$  es la temperatura máxima de referencia de la zona de confort y se realiza la suma sobre todos los días del año para los cuales  $T(t) > T_{m\acute{a}x}$ . El DGD\_R viene dado por el área sombreada verde de la Fig. 7. De manera análoga, el déficit grado día de calefacción (DGD\_C) se puede estimar como:

$$DGD\_C = \sum_{\text{Año}} (T_{m\acute{i}n} - T_m(t)) \Big|_{T(t) < T_{m\acute{i}n}}, \quad (2)$$

donde  $T_m(t)$  es la temperatura media diaria estimada,  $T_{m\acute{i}n}$  es la temperatura mínima de referencia de la zona de confort y se realiza la suma sobre todos los días del año para los cuales  $T(t) < T_{m\acute{i}n}$ . El DGD\_C viene dado por el área sombreada naranja de la Fig. 7.

A partir de los datos brindados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se calculó el DGD\_R, DGD\_C, y de la suma de ambos se obtuvo el DGD<sub>total</sub>. Los resultados se pueden observar en la Tabla 1.

	2010	2011	2012	Promedio	Porcentaje
DGD_R	259	205	289	251	21%
DGD_C	959	1000	951	970	79%
DGD <sub>total</sub>	1218	1205	1240	1221	100%

Tabla 1: DGD\_R, DGD\_C y DGD<sub>total</sub> para el Gran Buenos Aires en los años 2010, 2011 y 2012. Se observa que en esta región, el mayor consumo de energía para acondicionamiento de aire proviene de la calefacción.

A partir de los datos de temperaturas medidas a la entrada y a la salida del tubo enterrado en la CasaE, desde el día 16 de marzo de 2012 hasta el día 16 de marzo del siguiente año (un año), Fig. 8, se calculó el DGD\_R, el DGD\_C, y de la suma de ambos se obtuvo el DGD<sub>total</sub>, como puede observarse en la Tabla 2.

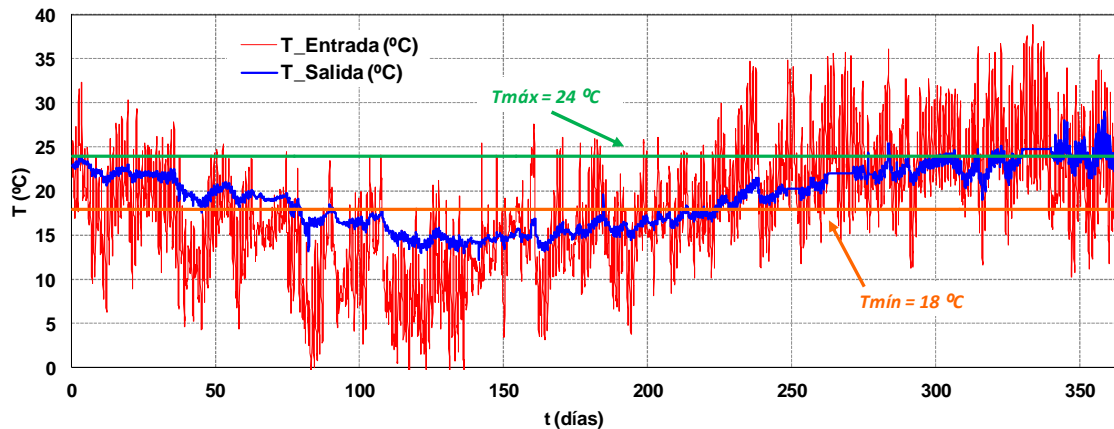


Figura 8: Temperaturas de entrada del aire al tubo (curva roja) y a la salida del mismo (curva azul). Estos datos fueron obtenidos durante un año a partir del 16 de marzo de 2012. Las líneas horizontales  $T_{m\acute{a}x} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $T_{m\acute{i}n} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  delimitan la zona de confort (Decreto 140/2007, 2007).

Se puede observar en la Fig. 8 que durante todo el año la temperatura del aire a la salida del tubo (curva azul) se mantuvo próxima a la temperatura de confort y su oscilación es mucho menor que la temperatura ambiente, temperatura del aire a la entrada del tubo (curva roja).



	Exterior	Tubo	Factor de Ahorro
DGD_R	278	23	92%
DGD_C	1046	332	68%
DGD <sub>total</sub>	1324	355	73%

Tabla 2: DGD\_R, DGD\_C y DGD<sub>total</sub> para la CasaE. Tomando como base las temperaturas del aire exterior y las temperaturas del aire luego de recorrer el tubo enterrado.

Se indica en la última columna de la Tabla 2 el Factor de Ahorro obtenido para el DGD\_R, el DGD\_C y el DGD<sub>total</sub>. El Factor de Ahorro total de energía en el acondicionamiento térmico (refrigeración y calefacción) a lo largo de un año, es de aproximadamente 70 %, lo cual se logró mediante el uso de tubos enterrados.

#### 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 (Clasificación Según la Transmitancia Térmica de la Envolvente, 2010), se pueden 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 vivienda, 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. 9 se 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.

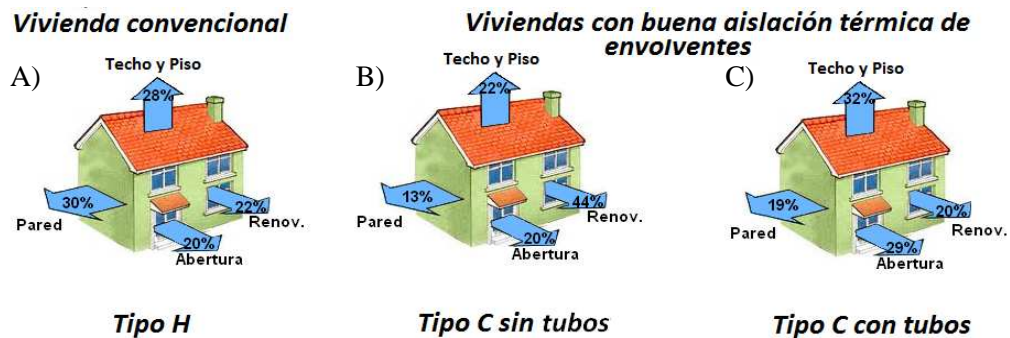


Figura 9: Porcentajes de pérdida de calor por techo y piso, pared, aberturas (ventanas y puertas) y renovación de aire en viviendas. A) Vivienda convencional B) y C) Viviendas con buena aislación térmica de envolventes, sin tubos y con tubos enterrados, respectivamente.

En la Tabla 3 se indican los consumos típicos de energía para los 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 térmica	5.020	1.325	6.345	50%
Tipo C (con tubos)	Buena Aislación térmica	3.546	936	4.482	64%

Tabla 3. Consumos de energía para calefacción y refrigeración de los cuatro tipos de viviendas consideradas.

## CONCLUSIONES

Se describe la potencialidad de los tubos enterrados como sistema efectivo para reducir los consumos de energía para acondicionamiento térmico de ambientes, útil tanto en invierno como en verano y se comprueba su efectividad en la Provincia de Buenos Aires, estos resultados pueden extenderse a un amplio rango de la geografía Argentina. Esta reducción en el uso de la energía, concomitantemente, genera una reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Dado que en Argentina, el consumo de energía para acondicionamiento de ambientes es del orden del 18% del consumo total del país, su utilización podría ser de mucha efectividad para reducir nuestras importaciones de gas natural.

Los sistemas de tubos enterrados pueden usarse por sí solos o como parte de un sistema más completo y elaborado, que incluye la posible utilización de bombas de frío-calor, combinadas con 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. Estimaciones preliminares indican que pueden lograrse ahorros del orden del 70% en calefacción y refrigeración. En su versión más simple, los sistemas de tubos enterrados podrían utilizarse en viviendas de interés social, para poblaciones de bajos recursos.

Este tipo de sistemas de pre-acondicionamiento de aire, combinado con el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua y adecuada aislación de las envolventes, consistentes con las normativas actuales (IRAM 11900), podrían reducir las emisiones de GEI y lograr un autoabastecimiento de gas natural en Argentina. Los ahorros en importación, podrían aprovecharse para estimular el desarrollo de muchas industrias nacionales que producirían los artefactos necesarios, generando riqueza y empleo a nuestros conciudadanos.

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

## REFERENCIAS

- Arquitectura subterránea. (2012). Recuperado el 14 de diciembre de 2012, de Wikipedia, The Free Encyclopedia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_subterr%C3%A1nea](http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_subterr%C3%A1nea)
- Arquitectura sustentable. (s.f.). Recuperado el 5 de marzo de 2013, de Wikipedia, the free encyclopedia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_sustentable](http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable)
- BASF The Chemical Company. (2009). Recuperado el 7 de marzo de 2013, de <http://www.basf.com.ar/lacasae/>
- Big Savings from the World's Largest Installation of Geothermal heat Pumps at Fort Polk, Louisiana. (2008).
- Decreto 140/2007, Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía, diciembre, 2007.
- Geothermal gradient. (2012). Recuperado el 24 de octubre de 2012, de Wikipedia, The Free Encyclopedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal\\_gradient](http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_gradient)
- Heat Recovery Ventilation. (2012). Recuperado el 13 de diciembre de 2012, de Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_recovery\\_ventilation](http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_recovery_ventilation)
- Iannelli, L. M., & Gil, S. (2012). Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. Latin-American Journal of Physics Education , VI (1), 99-105.
- Iannelli, L. M., & Gil, S. (2012). Ondas de Calor Determinación de temperaturas del pasado. Latin-American Journal of Physics Education , VI (1), 82-88.
- LG Life's Good. (2008). Recuperado el 15 de febrero de 2013, de <http://www.lg.com/uk/heat-recovery-exchangers>.
- Mastrandrea, M. M., & Schneider, S. H. (2008). Global Warming. American Journal of Physics , 608-614.
- Ruinas de los Quilmes. (2013). Recuperado el 11 de febrero de 2013, de Wikipedia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ruinas\\_de\\_los\\_Quilmes](http://es.wikipedia.org/wiki/Ruinas_de_los_Quilmes).
- Norma IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. (2001).
- Norma IRAM 11900. Clasificación Según la Transmitancia Térmica de la Envolvente. (2010) <http://www.iram.org.ar/>
- Secretaría de Energía de la Nación Argentina. (2011). Recuperado el 20 de febrero de 2013, de Secretaría de Energía de la Nación Argentina: <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>
- Sharan, G., & Madhavan, T. (2010). Cropping in Semi-arid Northwest India in Greenhouse with. International Journal for Service Learning in Engineering , V, 148-169.
- U.S. Department of Energy. (2012). Recuperado el 19 de marzo de 2013, de <http://energy.gov/public-services/homes/heating-cooling>



Underground living. (2012). Recuperado el 28 de noviembre de 2012, de Wikipedia, the free encyclopedia:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Underground\\_living](http://en.wikipedia.org/wiki/Underground_living)  
World Meteorological. (2007). Recuperado el 22 de marzo de 2013, de  
[http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index_en.html)

#### **ABSTRACT**

It is a challenge to meet the energy demands and to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. Global warming has anthropogenic causes. In Argentina about 30% of energy is consumed in buildings. Almost half of the energy used thermal conditioning of environments. A few feet of the surface in the central region of Argentina, the temperature is very stable throughout the year and close to  $19.2 \pm 3$  ° C (close to comfort temperature). This potential can be exploited using buried pipes which act as heat exchangers with the temperature within the building. A study was conducted with a system of pipes buried in the CasaE (company BASF SA), Buenos Aires. With proper insulation in the house, you can save 70% on heating and cooling. The use of this type of system can be a contribution to reduce our imports of energy and preserve natural resources.

**Keywords:** geothermal energy, environment conditioning system, energy saving and emission reduction of greenhouse gases.