

## **ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA**

**Juan Carlos Patrone y John Martin Evans**

### **Resumen**

El presente trabajo propone determinar y cuantificar la reducción del uso de energía de la construcción con tierra durante su factura y su vida útil frente a la construcción convencional. Con ese objetivo, se cuantifica la energía empleada en la construcción convencional de una vivienda del Plan Federal Nacional ubicada en el Gran Buenos Aires, comparada con otras similares construidas en tierra. El trabajo intenta identificar las características de muro y techo construido con tierra y estudiar su composición para lograr el desempeño térmico cumpliendo con la Ley 13.059 (2011) de Eficiencia Energética en Edificios, de la Provincia de Buenos Aires, y los Estándares Mínimos de Calidad para Vivienda de Interés Social la Sub-Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Nación SEDUV (2000). En ese marco, se plantean variantes realizadas con distintas técnicas constructivas, las más tradicionales en Argentina, adobe, tapia, quincha y BTC, excluyendo las instalaciones, consideradas iguales en todos los casos.

Mediante simulaciones del desempeño térmico, se verificó el cumplimiento de las Normas IRAM 11601, 11604 y 11605, de los distintos casos de viviendas, en los tres niveles de acondicionamiento térmico, A, B y C, fijados en la Norma IRAM 11604 (2001), considerando fundamentalmente el Nivel B, requerido por la Ley 13.059 de Eficiencia Energética en Edificios de la Provincia de Buenos Aires, aprobada en 2003 y reglamentada en 2011.

El costo económico también califica mejor que la vivienda convencional pero, dado que el costo de éstas es aproximado por no contar con precios estandarizados en el mercado, la evaluación no es verificable como la construcción convencional.

El costo energético en su vida útil es similar, con el nivel de aislación térmica fijado por la Norma, aunque las de tierra, al consumir menos energía durante su construcción, logran mejor nivel de eficiencia energética que la construcción convencional, aporte a la sustentabilidad del hábitat edificado, en sus 3 áreas básicas, social, económica y ambiental.

**Palabras clave:** eficiencia energética, desempeño ambiental, edificación sustentable.

### **Introducción**

La energía requerida en la construcción y elaboración de los materiales necesarios para su concreción, fue aumentando y complejizándose con el correr del tiempo, llegando hoy a la utilización de sistemas constructivos muy eficientes en el ahorro de mano de obra y tiempos de ejecución, pero aumentando exponencialmente su consumo energético.

La mano de obra artesanal fue reemplazada por procesos industriales que dependen del uso de energía derivada del petróleo provocando además, mayores emisiones de gases efecto invernadero.

La tierra, como material constructivo, presenta características ambientales destacables (Patrone, 2004), como su capacidad térmica, que permite acumular calor durante el día para entregarlo al ambiente durante la noche cuando baja la temperatura, proceso que produce un ahorro energético muy importante en zonas donde el salto térmico es superior a 10°C. También puede actuar como aislante térmico considerable si se lo trabaja incorporando cantidades importantes de fibras vegetales. Su capacidad higrométrica, que le permite regular la humedad ambiente, la escasa utilización de energía para su concreción, inclusive sus costos de producción y su destino final de volver a ser tierra, son económica y ambientalmente reducidos.

Para comprobar las ventajas energéticas de la construcción con tierra, es necesario estudiar en detalle las ventajas y desventajas energéticas a fin de verificarlas y cuantificarlas. Se analiza el comportamiento energético de la construcción de tierra frente a la construcción convencional, se compara la obra gruesa de viviendas similares verificando sus capacidades térmicas, la conductividad térmica de sus componentes y sus pérdidas calóricas volumétricas, las energías incorporadas en sus materiales, comparando sus resultados, la energía utilizada para su concreción, su costo monetario y su desempeño durante su vida útil, evaluando estos parámetros con resultados satisfactorios.

La utilización de la construcción con tierra en zonas suburbanas y rurales dentro del territorio nacional, en pos de una reducción efectiva del consumo energético, con una implementación generalizada, favorecerá el ahorro energético y el desarrollo sustentable del hábitat construido.

## **Metodología**

En función de un pormenorizado cómputo métrico, se cuantificó la energía incorporada de los materiales constitutivos de cada vivienda en sus distintas variantes, incluido su transporte y colocación en obra, comparando la vivienda de construcción convencional con las distintas variantes de construcción con tierra.

A fines comparativos, se evaluó el costo económico de cada una de las viviendas en estudio. Los resultados obtenidos en la investigación califican positivamente a las viviendas realizadas en construcción con tierra con menor energía incorporada. Se detectó que la variante que mayor energía incorporó fue la construcción con bloques de tierra comprimidos (BTC) con solo el 32 % de la energía incorporada por la vivienda convencional, mientras que la construida con adobe alcanza el 24 %.

Frente al hábitat edificado existente, construido con materiales y técnicas tradicionales, que consume el 30 % de la energía producida y emite el 25 % de los GEI (Evans, 2011), la alternativa de la construcción con tierra, actualización de la construcción histórica, es una meta favorable en un futuro mediano, teniendo en cuenta que la energía necesaria para producir un bloque de hormigón es igual a la que se requiere para producir 300 bloques de barro (Bardou y Arzoumanian, 1981).

En ese contexto, cabe valorar la relevancia de incrementar la investigación en este campo, junto al desarrollo de nuevas normativas que la equiparen con la construcción convencional, contando además con el apoyo institucional. El creciente uso de energía en edificaciones, la limitada capacidad de combustibles fósiles, las dificultades en revertir la producción de energía convencional por energías renovables, sumado a las dificultades en modificar la industria del transporte con energías limpias, hace de la eficiencia energética

en la edificación un instrumento válido y necesario, ya que el rubro consume aproximadamente el 30 % de la energía producida en el país (Evans, 2011).

Si el consumo es proporcional a la demanda e inversamente proporcional al rendimiento, y si el objetivo de la eficiencia energética es reducir el consumo de energía en los edificios, se plantean las siguientes medidas:

- a) reducir la demanda según el diseño de la envolvente.
- b) aumentar el rendimiento de los sistemas de acondicionamiento.
- c) actuar simultáneamente sobre la demanda y los sistemas.

En términos generales, es más eficiente y más económico reducir la demanda del edificio que aumentar el rendimiento de los equipos, si bien la optimización se consigue realizando ambas acciones simultáneamente.

Se estudiaron los antecedentes de la construcción con tierra, el enfoque histórico tecnológico, las técnicas constructivas de tierra más utilizadas en el país, el conocimiento de la capacidad térmica y aspectos relativos a la sustentabilidad, salud y otras características (Viñuales, 2012).

En Argentina, dado que la construcción ‘natural’ está fundamentalmente representada por la construcción con tierra, el objeto de este estudio se circunscribe a este campo en las distintas variantes utilizadas en el país, tales como: muros de adobe, de tapia, de bloques de tierra comprimida “BTC”, con moldeo directo “cob”, con técnicas mixtas “quincha” de madera o cañas embarradas, con techos verdes y pisos de tierra, de madera, o distintas combinaciones entre ellos.

Respecto a la construcción convencional, la construcción con tierra ahorra energía no solo durante el proceso constructivo sino también durante su vida útil, inclusive en su disposición final (Vázquez Espí, 2001), alentando la motivación de este trabajo para cuantificar dichas ventajas.

La construcción realizada con materiales naturales, sin modificaciones de su estructura molecular, extraídos de la naturaleza mediante procedimientos mecánicos, utilizando la menor cantidad de energía posible. Procurando que la mayor cantidad de energía utilizada sea renovable, sin utilizar elementos, sustancias o sistemas contaminantes y que la construcción resultante requiera la menor energía posible para cumplir su función respetando niveles de confort aceptables.

Aprovechando la mayor energía renovable disponible (solar, eólica, termal, etc.), utilizando estrategias bioclimáticas necesarias, se obtiene mayor eficiencia con un plan de disposición final no contaminante. Junto a la reconversión de la producción energética, el transporte y la industria utilizando energías limpias, permitirá mitigar el calentamiento global, meta imprescindible para legar a las generaciones futuras un hábitat edificado más sustentable.

Para ello, se considera que se debe lograr mayor eficiencia durante el proceso constructivo, lo cual implica no solo utilizar la menor cantidad de energía en el acto de concretar la edificación, sino en la elección de materiales cuyo proceso de fabricación no haya demandado excesiva energía, productos químicos, emisión de gases de efecto invernadero, ni gran costo de transporte hasta su ingreso a obra y luego, obtener la mayor eficiencia energética en el funcionamiento del edificio durante su vida útil.

Si bien la mayor eficiencia energética en edificación se logra implementando estrategias de diseño bioambiental, la construcción con materiales naturales puede contribuir con una importante reducción del costo energético de su construcción y el costo energético de la producción de materiales convencionales, pero las propiedades térmicas de la tierra son las que mayor beneficio pueden aportar.

Las construcciones de tierra poseen muy buena inercia térmica y una aislación aceptable, dependiendo de la densidad del elemento construido (Patrone y Evans, 2012), tendrá mayor inercia o mayor aislación según la técnica constructiva adoptada. Las técnicas de tapial o BTC, que se basan en tierra comprimida, tienen mucha densidad y, por lo tanto, buena inercia térmica. Las técnicas de barro plástico, adobe, cob, quincha, paja embarrada y tierra alivianada, dependerán de la cantidad de paja que se incorpore en la masa de barro para obtener mejor aislación térmica (Evans, 2004).

Las características térmicas de construcción con tierra son relevantes en la actualidad a fin de cumplir los objetivos del Decreto N° 140/07 (2007) y con nuevas normas obligatorias de aislación térmica, tales como la Ley 13.059 (2011) de la Provincia de Buenos Aires, considerando que algunas alternativas de construcción con tierra, como la tapia y los BTC, no cumplen con la Norma IRAM 11.605 (1996) es necesario capas adicionales de aislantes térmicos.

Sobre la base de mediciones registradas en construcciones realizadas con distintas técnicas de tierra y otras con materiales convencionales, el trabajo realiza simulaciones calibradas con mediciones reales para establecer la precisión de dichas simulaciones (Patrone y Evans, 2012).

Se analizan las características térmicas, energéticas y ambientales de edificaciones con materiales convencionales a fin de establecer un punto comparativo para la evaluación del costo energético de las mismas.

Complementariamente, se revisaron las Normas IRAM (1972-2012) que establecen los límites mínimos admisibles para vivienda social, y la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires (2011), que establece con carácter obligatorio las condiciones térmicas de edificios de la Provincia de Buenos Aires, para verificar la adecuación de las construcciones de tierra a estas Normas.

Mediante simulaciones calibradas se verifica el comportamiento higo-térmico, la mayor eficiencia energética y reducción del costo energético económico de la construcción con tierra respecto a la construcción con materiales convencionales. El trabajo estudia las características térmicas de las viviendas comparando la envolvente de construcción convencional con otras construidas con diversas técnicas en tierra, como adobe, tapia, quincha y BTC.

En base a la documentación de cada vivienda, planos, planillas de locales y carpinterías, se verifica el comportamiento térmico de las mismas mediante las planillas electrónicas (Evans, 2002) para el cálculo de la transmitancia térmica 'K' de muros y techos componentes de la envolvente. También se presentan estudios de caso de investigaciones realizadas sobre el comportamiento de viviendas de tierra comparadas con otras de construcción convencional.

La comparación de la demanda de energía de las viviendas en estudio, correspondiente a las pérdidas de calefacción en invierno, determinadas utilizando la metodología de la

Norma IRAM 11604 (1987, 2001). Se verifica el coeficiente volumétrico 'G' de pérdida de calor de la vivienda. Luego se compara el valor de G calculado con las máximas admisibles fijadas por la misma Norma IRAM y, con los valores de las pérdidas totales de calor, se determina la carga térmica anual de calefacción, según Norma IRAM 11604, lo cual posibilita estimar la energía necesaria para calefaccionar la vivienda durante un año.

En ese marco, se compara la energía incorporada en los materiales constructivos de las viviendas en estudio y se determina la energía incorporada a la misma en función del cómputo métrico de los materiales de cada una de las viviendas, comparándose las distintas alternativas constructivas en tierra con la vivienda de construcción convencional. Se analiza el costo monetario de las viviendas en estudio, sobre el cómputo métrico de los materiales de cada una de las viviendas, se determina el valor monetario de las mismas, comparando los presupuestos finales de las distintas alternativas constructivas, y se verifica la aplicación de la metodología a distintas regiones.

A tal fin, se analiza la situación de construcciones con tierra en distintas zonas bioambientales del país, según la Norma IRAM 11.603 (2012):

- **Zona V**, con bajas temperaturas, que requieren incorporar mayor aislación, problema soluble en zonas rurales donde el incremento del espesor de muros, disponiendo de tierra apta para construir y aislación natural en el lugar, dado que el incremento de aislación natural altera mínimamente el incremento de energía incorporada.
- **Zona VI**, muy fría, abarca las Provincias de Tierra del Fuego, Santa Cruz y zonas altas de la Cordillera, la construcción con tierra no es recomendable. Aunque algunos autores consideran a la construcción con fardos de pasto una técnica de construcción con tierra, dadas las características climáticas de esta zona, la técnica constructiva puede ser recomendable, si bien la tierra quedaría relegada solo a revoques interiores.
- **Zonas I y II**, muy cálidas, la técnica recomendable es la construcción con quincha que, por ser muy liviana, permite construcciones despegadas del suelo y ventilación cruzada, no solo en sus ambientes interiores sino también entre el piso natural y los techos. En la **Zona II** se hicieron estudios con buenos resultados con viviendas de adobe y quincha en los alrededores de las Ciudades de Paraná y Santa Fé, Argentina (Patrone et. al 2013), además de testigos y documentos en arquitectura vernácula argentina.

Considerando los resultados del trabajo, se recomienda desarrollar conocimientos que permitan lograr mayor ahorro energético en estas construcciones:

- **profundizar la investigación** sobre la técnica con fardos de pasto para zonas de clima frío.
- **investigar la capacidad ambiental-energética de las construcciones de tierra** respecto a equilibrar la humedad relativa en su interior.
- **racionalizar el valor del confort** en las construcciones de tierra en función de las radiaciones sobre el hombre, y

- **promover el recurso** a través del conocimiento racional del material tierra.

### **Resultados obtenidos**

El trabajo demuestra los aportes que la construcción con tierra produce en el ahorro energético de la construcción, observando las características térmicas de la construcción con tierra que, con el agregado de aislantes naturales, cumple con el Nivel B de la Norma IRAM 11.605 (1996), incorporada en la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires (2011) con carácter obligatorio.

Cabe mencionar que la construcción con adobe sin aislación adicional puede alcanzar dicho Nivel, requiere un espesor de muro de 45 cm, situación normal en zonas rurales. También se alcanzan los Niveles B y A de la Norma, incluyendo aislación natural entre dos estructuras de quincha sin alterar el espesor del muro. A ello se agrega que, demostrado numéricamente, las viviendas de tierra alcanzan los mismos Niveles B y A de la Norma IRAM, solo con un 24 % a 31 % de la energía incorporada necesaria para construir la vivienda convencional, resultado fundamental de esta investigación, teniendo guarismos similares para alcanzar el Nivel A de la Norma.

También se demuestra que, según la Norma IRAM 11604 (2001), a través de la determinación del Coeficiente Volumétrico G de pérdidas de calor, las cargas térmicas anuales requeridas para el acondicionamiento térmico de las viviendas son similares tanto en aquellas construidas con tierra como en la vivienda convencional, en los Niveles A y B de dicha Norma, ya que los valores requeridos son los mismos en todas las variantes. Se aprecia además que, en general, las viviendas de tierra son monetariamente más económicas, principalmente en zonas húmedas cálidas y templadas, donde exista abundancia de maderas o cañas.

### **Relevancia de los resultados**

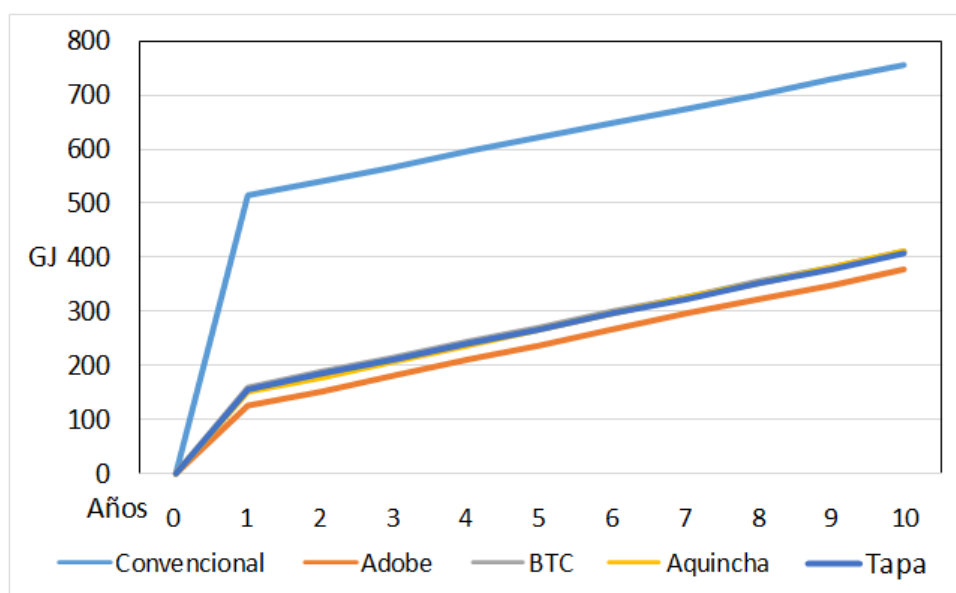
La reducción de energía en la construcción con tierra está directamente relacionada con la baja energía incorporada de sus materiales y la materialización de la misma. La Tabla 1 indica que la construcción con BTC requiere 353 GJ menos que la convencional y que la de adobe requiere 389 GJ menos respecto a la convencional. Allí los resultados indican que se construyen entre tres y cuatro viviendas de construcción con tierra en sus distintas alternativas con la misma energía necesaria para una vivienda convencional.

**Tabla 1.** Energía incorporada y energía en uso según año, en GJ.

Tipo de construcción	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Convencional	0	514	541	568	596	622	649	676	703	730	757
Adobe	0	125	153	181	209	237	265	295	321	349	377
BTC	0	161	189	217	245	273	301	329	357	385	413
Quincha	0	150	179	208	237	266	296	324	353	382	411
Tapia	0	156	184	212	240	268	296	324	352	380	408

La Figura 1 indica que la energía incorporada se incrementa en forma similar en todas las variantes por tener similar calidad térmica y demanda anual de energía.

La mantención de la construcción con tierra tendrá que contar con un seguimiento y atención continua respecto a la construcción convencional, aunque no resulta significativo el incremento en la demanda de energía debido a este factor. Cabe notar que, si bien el mantenimiento se realiza con mayor asiduidad, los pequeños incrementos en el costo se compensan con los arreglos y atención prestada al efectuarse el mantenimiento necesario en la vivienda de construcción convencional.



**Figura 1.** Demanda de energía para fabricación y uso de la vivienda según número de años de uso, en GJ.

La Tabla 1 y la Figura 1 indican el consumo de energía incorporada en función de la cantidad de viviendas construidas, si bien el incremento de energía es proporcional a la cantidad de viviendas.

En la Figura 1 se identifica con claridad la diferencia de energía consumida entre las viviendas construidas con tierra y las de construcción convencional.



**Tabla 2.** Reducción en la demanda de energía convencional para acondicionamiento térmico, según número de viviendas construidas.

<b>7.2</b>		<b>Viviendas</b>				
<b>Convencional</b>	514	5140	12850	25700	51400	102800
<b>BTC</b>	161	1610	4000	8050	16100	32200
<b>Tapia</b>	156	1560	3900	7800	15600	31200
<b>Quincha</b>	150	1500	3750	7500	15000	30000
<b>Adobe</b>	125	1250	3125	6250	12500	25000

La Tabla 2 permite visualizar claramente la relevancia del ahorro energético de las construcciones de tierra, fundamentalmente si la misma se produce masivamente.

Además, la reducción del costo monetario, que en algunos casos puede no ser significativo, podría reducirse con la inclusión de mecanización, industrialización y, fundamentalmente, con la construcción en serie.

## Conclusiones

El estudio comparativo realizado en este trabajo ha permitido comprobar el desempeño térmico de la construcción con tierra y su aporte en el marco de la sustentabilidad en la producción de hábitat edificado, de particular relevancia en nuevos programas de vivienda social.

### Transferencia y aplicación de los resultados

El estudio potencia la transferencia de los resultados al medio social, con su aporte en la formación académica y capacitación profesional, con su posterior impacto en la legislación e innovación institucional, a través de las siguientes acciones:

- **Optimizar la investigación científica tecnológica** a fin de potenciar las virtudes del material como su capacidad térmica, su bajo contenido energético y su versatilidad para regular la humedad relativa e incrementar la salud de sus ocupantes, incorporando industrialización, mecanización y nuevos estabilizantes que confieran al material una mayor resistencia a los efectos climáticos.
- **Desarrollar y actualizar normativas** y establecer organismos de control de calidad del material tierra y sus procesos constructivos para lograr estándares que permitan equiparar y popularizar las construcciones de tierra con las convencionales.
- **Incorporar mecanización e industrialización** en los procesos constructivos de tierra para reducir tiempos y costos que redunden en el incremento de estas construcciones que requieren bajos niveles de energía para su concreción.

Ello contribuye a recuperar técnicas constructivas de valor patrimonial, y actualizar normativas, con el soporte de mano de obra local, aspecto importante en la revitalización de empleo como componente social y económico de alto contenido regional.



## Referencias

- Bardou y Arzoumanian (1981). *Sol y Arquitectura*, Gustavo Gill S. A., Barcelona.
- Evans, J. M. (2004). *Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad*, 1er. Seminario Taller, Construcción en Tierra, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires.
- IRAM (1980, 1993 y 2012), *Norma IRAM 11.603, Acondicionamiento térmico de edificios, Clasificación Bioambiental de la Republica Argentina*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1987, 2001), *Norma IRAM 11.604, Acondicionamiento térmico de edificios. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1996) *Norma IRAM 11.605, Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires (reemplaza IRAM 11605:1980).
- Patrone J. C., (2005) *Gestión y Desarrollo en la Construcción de la Vivienda de Interés Social con empleo de suelo estabilizado*, Construcción con Tierra 1, CIHE+IAA, FADU-UBA, Buenos Aires.
- Patrone, J. C. y Cabezón, M. (2004) *Tierra estabilizada apisonada en el Gran Buenos Aires. Prototipo de vivienda de interés social en Florencio Varela*. 1er. Seminario Taller Construcción con tierra CIHE, FADU-UBA ISSN 1668-7159, Buenos Aires.
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2011) *Estudio Comparativo del desempeño térmico en viviendas de suelo cemento y de materiales convencionales*, Jornadas SI+amb, FADU-UBA, Buenos Aires.
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2012). *Auditorías térmicas en vivienda construidas con tierra*. Construcción con Tierra 5, CIHE+IAA, FADU-UBA, Buenos Aires.
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2012) *Respuesta ambiental de la Arquitectura de tierra en el espacio latinoamericano* Jornadas PRE- ALTEHA-FADU-UBA, Buenos Aires.
- Patrone, J. C., et. al (2013). *Evaluación de Desempeño Ambiental de Construcción con Tierra Mediante Simulaciones Calibradas* XIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Valparaíso.
- Provincia de Buenos Aires (2011), Ley 13.059 de Eficiencia Energética en Edificios.
- SEDUV (2000) *Estándares Mínimos de Calidad para Vivienda de Interés Social*, Sub-Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Nación, Buenos Aires.
- Vázquez Espí, M. (2001). *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*. Instituto Juan de Herrera. Madrid.
- Viñuales, G. (2012). *Puesta en Valor de la Construcción con Tierra. Reflexiones*, Construcción con Tierra 5, CIHE+IAA, FADU-UBA, Buenos Aires.

## **Reconocimientos**

El presente trabajo fue realizado en el marco de la tesis '*Eficiencia Energética en la Construcción con Tierra*' de la Maestría Interdisciplinaria en Energía, Universidad de Buenos Aires, con la dirección del Dr. Arq. John Martin Evans.

Las técnicas de evaluación del contenido energético de materiales fueron desarrolladas en el Centro de Investigación Hábitat y Energía, en Proyectos de Investigación UBACyT de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, SECyT-UBA, agradeciendo su apoyo y financiación:

- '*Reducción de emisiones GEI en el sector vivienda*', Grupos Consolidados, 2014-2017, Código 20020130100827BA, y
- '*Estrategias de EE+ER, Eficiencia Energética y Energías Renovables en edificación y su aporte ambiental, económico y social al Desarrollo Sustentable*', Interdisciplinario, 2017-2020, Código 20620160100006BA.