

enfriamiento pasivo
pinturas para fachadas
relación costo-beneficio
habilidad térmica

*passive cooling
facade paints
cost-effective
thermal ability*

> NOELIA ALCHAPAR | ÉRICA CORREA |
MARÍA A. CANTÓN
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Instituto de Ciencias Humanas, Sociales
y Ambientales (INCIHUSA - CONICET)

PIELES REFLECTIVAS COMO ESTRATEGIA PASIVA DE ENFRIAMIENTO URBANO. CLASIFICACIÓN DE PINTURAS PARA FACHADAS SEGÚN COSTO ECONÓMICO - BENEFICIO TÉRMICO

Una estrategia de mitigación de las islas de calor urbanas que resulta efectiva y de bajo costo es la aplicación de pinturas reflectivas sobre las superficies de la envolvente edilicia. Este estudio clasifica el comportamiento térmico de dieciséis ejemplos de pinturas. El objetivo es seleccionar la opción adecuada para reducir el consumo anual de energía asociado a las cargas de enfriamiento en relación a los costos de inversión inicial que cada alternativa conlleva. Los resultados muestran que el costo económico no es un indicador proporcional al potencial de disminución de la carga térmica que presenta la pintura.

Reflective skin as passive strategy of urban cooling. Facade paints classification according economic cost - thermal benefit
A mitigation strategy of urban heat island that is effective and low cost is the application of reflective paints on the surfaces of the building envelope. This study classifies the thermal behavior of 16 samples of facade paints. The aim is to select the appropriate option to reduce annual energy consumption associated with cooling loads in relation to initial investment costs that each alternative entails. The results show that the economic cost is not an indicator of potential decrease proportional to the thermal load of the paint presents.

Introducción

Uno de los mayores problemas que enfrentan las ciudades es el crecimiento horizontal y vertical de superficies selladas y predominantemente oscuras (bajo albedo). La piel de una ciudad es la representación material del límite entre el espacio interior y exterior; entre la dimensión privada y la urbana. Las propiedades superficiales de los materiales que componen la envolvente urbana (color, rugosidad, emisividad, reflectancia) pueden afectar de manera significativa su desempeño térmico, por lo que es necesario tomarlas en cuenta en el momento de su elección. Según sus propiedades termo-físicas se define el albedo global de una urbe y, por consiguiente, condicionan su microclima local.

Como consecuencia de los factores mencionados anteriormente, se registra un incremento de la temperatura del centro de la ciudad respecto de sus alrededores llamado efecto “isla de calor”. Este efecto es de particular importancia en la actualidad y a futuro dado el incremento del consumo de energía eléctrica para el acondicionamiento térmico en los edificios en verano. Además, este fenómeno propicia la contaminación ambiental, ya que elevadas temperaturas urbanas sirven de catalizador en diversas reacciones que producen contaminantes atmosféricos. (Hall, Kleinman y Coloma 1992). Para el caso de la Argentina, el sector energético tiene gran responsabilidad en el incremento del efecto invernadero, por ejemplo la generación de energía eléctrica provoca entre un 45 y un 50 por ciento de las emisiones de gases responsables de este efecto (Rössler 2009).

En el contexto de calentamiento global y disminución de los recursos energéticos no renovables, resulta esencial concentrarse en la reducción de los consumos energéticos edilicios (Bodart, Penaranda, Deneyer y Flamant 2008). En muchos países, el consumo de energía en el sector residencial representa la tercera parte del total de la energía consumida (Synnefa, Santamouris y Apostolakis 2007).

Los materiales fríos (alto albedo y emitancia térmica) reducen la demanda de energía para refrigeración en edificios con aire acondicio-

nado y mejoran el confort de los edificios sin acondicionamiento (EPA 2009). Es por ello que definir parámetros que caractericen el comportamiento térmico de los materiales de la envolvente urbana resulta indispensable para mejorar el funcionamiento energético de las ciudades.

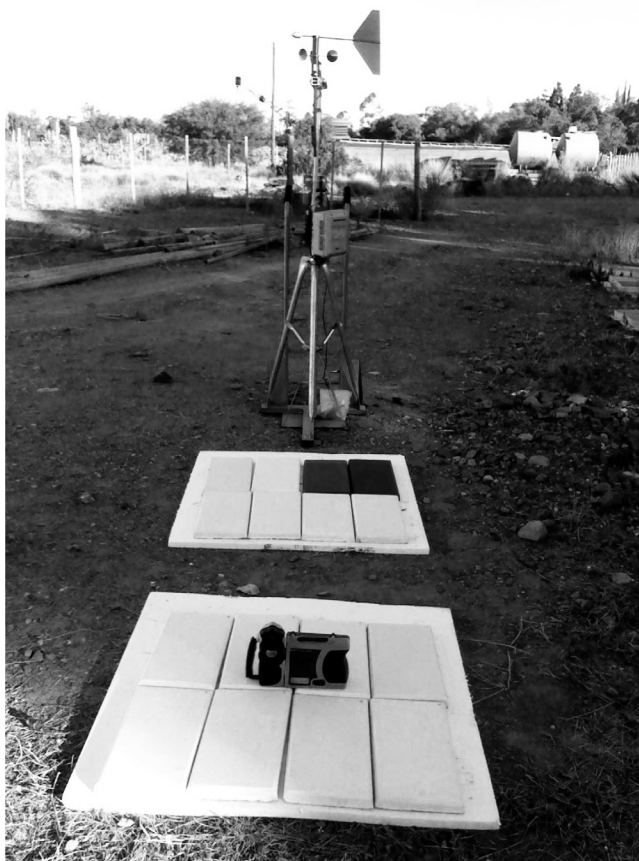
En esta investigación se estudiarán en particular pinturas para fachadas, ya que existe un menor desarrollo en este campo en relación a la producción científica realizada con pinturas para techos. Diversas investigaciones (Cheng y Givoni 2005; Kai, Neide y Vanderley 2010; Doya, Bozonnet y Allard 2012; Karlessi, Santamouris, Apostolakis, Sinnef y Livada 2009; Dornelles, Roriz, Roriz y Caram 2011; Muselli 2010; Santamouris, Synnefa y Karlessi 2011) han estudiado el impacto de las pinturas sobre los consumos energéticos y la consecución de condiciones de confort.

Para determinar el funcionamiento térmico de las pinturas se calculó un indicador denominado “índice de reflectancia solar” (SRI) desarrollado por la norma ASTM E1980-11. Dicho índice (SRI) unifica en un único valor el albedo, emisividad y temperatura superficial de cada alternativa evaluada. Por lo tanto, el SRI es adecuado para ayudar a diseñadores y usuarios a elegir los materiales apropiados en torno a mejorar la eficiencia energética de edificios y comunidades. Existen herramientas para profesionales disponibles *on-line* que lo calculan, tales como: SRI de ORNL; SRI en hoja de Excel desarrollado por LBNL¹ y SRI de Normas LEED.

La aplicación de pinturas frías, es decir con altos niveles de SRI, proporciona numerosos beneficios ambientales y económicos, entre los que se pueden citar:

- > Reducción de las ganancias de calor en edificios, que propicia un ahorro significativo en los consumos de energía eléctrica derivados del uso de equipo de aire acondicionado.
- > Mejora en las condiciones de confort térmico en edificios no climatizados.
- > Beneficios microclimáticos en zonas urbanas mediante la reducción de temperaturas superficiales y del aire ambiente exterior (Santamouris, Synnefa y Karlessi 2011).

1. *Cálculo del índice de reflectancia solar (SRI), basado en la reflectancia solar y emisividad térmica, según norma ASTM E-1980. Herramienta codificada por Ronnen Levinson, Grupo de isla de calor (Heat Island Group) del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en <http://heatisland.lbl.gov/>*



- > Descenso de la demanda pico de electricidad.
- > Aumento de la expectativa de vida del sistema de cubierta, disminuyendo costos de mantenimiento.
- > Mitigación del efecto de isla de calor entre 1-2°C, debido a que menos calor es transferido al aire circundante.
- > Disminución de la contaminación ambiental y de emisiones de CO₂ (Givoni 1994: 1-36 y 81-130; Taha, Akbari, Rosenfeld y Huang 1988).

Cabe destacar que la utilización de materiales con altos niveles de SRI sobre la envolvente permite acreditar puntos en Sistemas de Certificación Edilicia Sustentable: ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, el Código Internacional de Conservación Energética IECC 2003 y 2006, y California's Title 24. También se han adoptado programas voluntarios tales como la etiqueta de EPA Energy Star, la norma LEED Green Building y programas de descuentos ofrecidos por California (GBC 2005).

El objetivo de este estudio es realizar un análisis comparativo entre la relación costo-beneficio de alternativas de pintura para fachadas de composiciones y costos económicos variados. Para ello se determina el potencial de disminución de la carga térmica de pinturas látex de composición acrílica e impermeable para fachadas en comparación

al comportamiento de una pintura atérmica difundida en el mercado local. Mediante el cálculo del índice de reflectancia solar (SRI) se estimará el funcionamiento térmico en comparación a los costos económicos de inversión inicial que cada alternativa requiere.

Material y método

Selección y clasificación de muestras

Se confeccionaron 16 muestras de pintura látex para fachadas sobre una base de hormigón de 40 x 20 cm, de marcas y costos ampliamente difundidos en el mercado local. Según especificación del fabricante, se preparó la superficie a pintar con una capa de enduido para exteriores y sellador fijador previamente lijado, luego se dispusieron 3 capas de cada una de las pinturas látex a estudiar (Figura 1). Las muestras se ubicaron sobre una superficie horizontal de poliestireno expandido de 7 cm de espesor, dentro de un predio del Centro Científico y Tecnológico de Mendoza (32°53'45" de latitud sur y 68°52'28" de longitud oeste).

Se seleccionaron pinturas látex para fachadas en tres composiciones disponibles en el mercado local: acrílica (ac), impermeable (im) y atérmica (at) de diversos costos.

Figura 1
Estación meteorológica móvil, Cámara IR Fluke T155 y muestras de pintura para fachadas dispuestas en el predio.

Gama	Color	Composición			Cod.	Costo de Inversión (por litro)
		Ac.	Im.	At.		
Gama Económica	blanco	*			P13	\$ 23
	blanco	*			P12	\$ 30
	negro	*			P02	\$ 35
	blanco		*		P14	\$ 38
Gama Estándar	terracota		*		P16	\$ 40
	blanco		*		P10	\$ 40
	blanco		*		P15	\$ 40
	blanco		*		P09	\$ 41
	blanco		*		P07	\$ 43
	blanco	*			P11	\$ 47
	blanco		*		P06	\$ 47
	blanco		*		P03	\$ 47
Alta Gama	blanco		*		P08	\$ 50
	blanco		*		P04	\$ 50
	blanco			*	P01	\$ 60
	blanco		*		P05	\$ 65

Tabla 1
Clasificación de pinturas evaluadas según gama, costo inicial (\$), color y composición [ac: acrílica; im: impermeable; at: atérmica].

La pintura látex acrílica (ac) es una emulsión estireno acrílica. Compuesta por resinas en dispersión acuosa, dióxido de titanio y pigmentos entonadores.

La pintura látex impermeable (im) es un emulsión acrílica elastomérica que proporciona flexibilidad y resistencia al recubrimiento para impedir las fisuras causadas por los cambios de temperatura y humedad.

La pintura atérmica (at) es un recubrimiento de alta durabilidad formulado a base de polímeros acrílicos y componentes reflectivos destinado a proteger térmicamente de la radiación solar y de los rayos UV.

En Tabla 1, se describen los costos de inversión inicial por litro de las muestras de acuerdo a su composición y color.

Registros ópticos y térmicos de las muestras

El monitoreo se realizó durante el mes de febrero y marzo del año 2012. De la serie de mediciones, los datos que se reportan en este estudio corresponden al 18 de marzo, bajo condiciones ambientales locales estándares. Mediante el uso de la estación meteorológica móvil (EMM) se registró a las 13.00 hs. un flujo de radiación solar (i) de 849 W/m^2 , temperatura media de aire (T_a) de 304°K , humedad relativa de 36.3% y velocidad de viento (v) de 1.4 m/s (Figura 2).

Para calcular el índice de reflectancia solar (SRI) de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM E1980-11, se midieron las siguientes variables: albedo ($\hat{\alpha}$), emisividad (ϵ), velocidad de viento (v) y temperatura superficial (T_s), correspondiente a las 13.00 hs.

El albedo o reflectancia solar es el porcentaje de la energía solar reflejada por una superficie. Esta propiedad es determinante de las máximas temperaturas en un material. (Levinson y Akbari 2002). La emitancia térmica de un material determina la cantidad de calor que se irradia por unidad de superficie a una temperatura dada, es decir, la facilidad con la que una superficie arroja calor (Avdelidis y Moropoulou 2003).

Se calculó el valor del albedo ($\hat{\alpha}$), mediante la utilización de un albedómetro tipo Kipp & Zonen CMA11. Este instrumento posee un rango espectral de 285 a $2800 \mu\text{m}$, con una irradiancia solar máxima de 4000 W/m^2 (Kipp & Zonen Product Catalogue 2012). El albedómetro registra la radiación solar recibida sobre superficie horizontal y la radiación solar reflejada, de este modo se determina, por diferencia, el albedo de cada pintura. Para estimar la emisividad (ϵ) se empleó un sensor de temperatura de termocupla tipo T asociado a un data logger hobbo U12; el mismo fue programado en registros de medición de temperatura superficial en intervalos

de 2 segundos. El valor del flujo radiante emitido por el material es comparado con el dato que registra un termómetro IR Fluke 568 con ajuste de emisividad. De modo tal que la emisividad del material corresponde a aquella que hace coincidir la temperatura de la termocupla con la del termómetro IR (ASTM E1933-99a 2006).

El coeficiente global de convección (h_c) que se incrementa con la velocidad de viento, se calculó de acuerdo a la ecuación (1) (Duffie y Beckman 1991: 253-270):

$$h_c = 2.8 + 3v; \text{ para velocidad de viento } < 5\text{m/s} \quad (1)$$

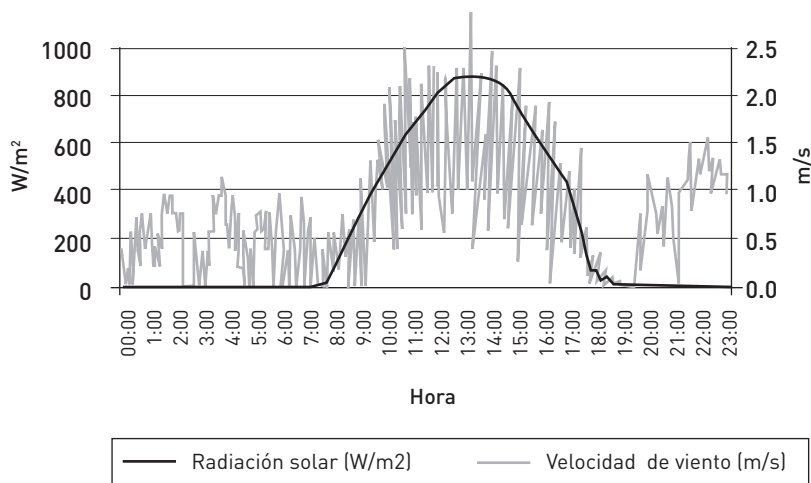
donde,

$$v = \text{velocidad de viento m/seg}$$

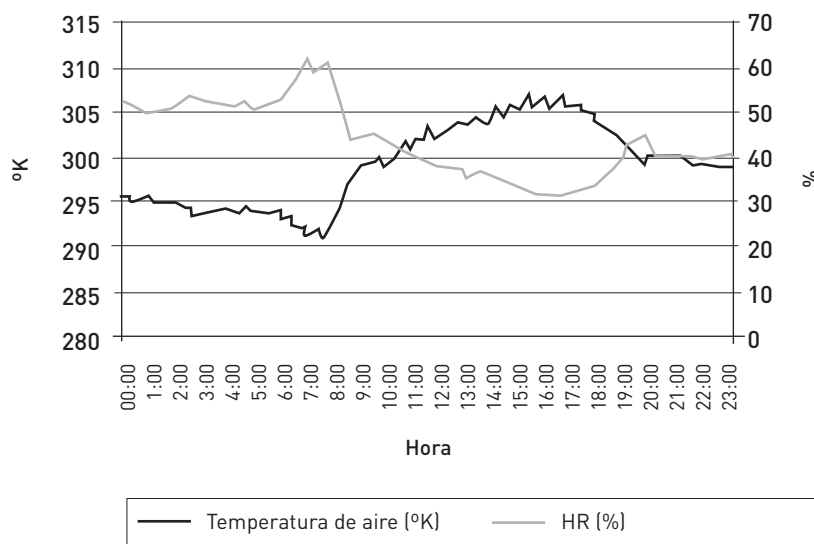
La conductividad térmica de cada material se ha despreciado, ya que sus espesores son semejantes y además se trabaja con límite adiabático respecto de la conductividad a tierra (superficie de poliestireno expandido). Los comportamientos térmicos superficiales (T_s) se registraron con la cámara IR Fluke Ti 55, la cual detecta la radiación infrarroja de onda larga en el rango de 7.5 a 14 μm dentro del espectro electromagnético. Con este instrumento se obtuvieron imágenes térmicas que registran el calor radiante de cada material. En las fotografías termográficas, cada píxel contiene un valor de temperatura determinado. El software Smart-View 2.1, a través de algoritmos, asigna un color específico que corresponde a un valor de temperatura en las coordenada x-y de la imagen.

La energía radiante registrada por la cámara infrarroja no sólo está en función de la temperatura del objeto, sino que también de su emisividad. La misma fue seteada previamente de acuerdo al valor medido para cada material *in situ*. Paralelamente, se midieron y contrastaron las temperaturas superficiales de cada material con termocuplas tipo T incorporadas a dataloggers LASCAR EL-USB-TC, sensando cada minuto. Esto se hizo para verificar el comportamiento térmico de aquellos casos en que los materiales pudiesen comportarse como selectivos (Figura 3).

Radiación solar y velocidad de viento



Temperatura de aire y humedad relativa



Determinación del índice de reflectancia solar

Se calcula el SRI de las pinturas seleccionadas mediante la medida de su reflectividad solar, su emisividad térmica y su comportamiento térmico superficial. Se obtiene este indicador bajo la norma ASTM E1980-11.

El SRI cuantifica el calor que acumularía un material en relación a una superficie estándar negra y una blanca, bajo condiciones ambientales estándar. Se define como “patrón negro” a un material con una reflectancia de 0.05 y una emitancia 0.90; y el patrón blanco posee una reflectancia 0.80 y una emitancia 0.90. El SRI es un valor entre 0% (tan caliente como una superficie de color negro) y 100% (tan fresco como una superficie blanca).

Para una superficie expuesta al sol y aislada por debajo, la temperatura superficial de

Figura 2
Radiación solar, velocidad de viento, temperatura del aire y humedad correspondientes al día evaluado.

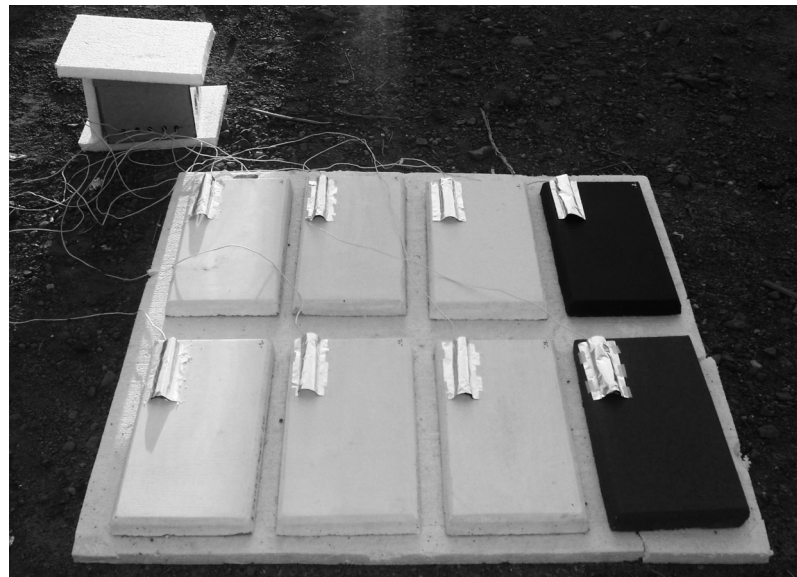
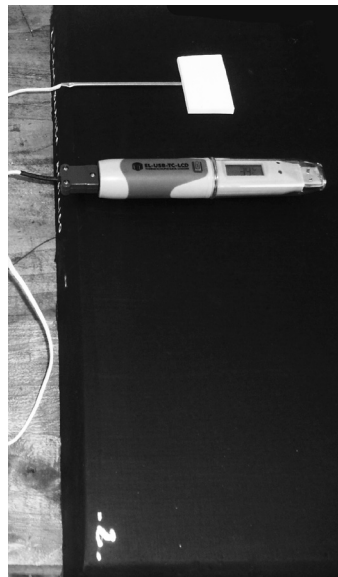
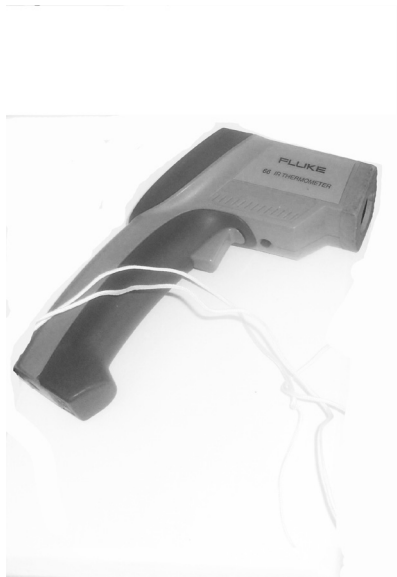


Figura 3
Instrumentación utilizada para la obtención de registros térmicos y emisividad de cada muestra.

equilibrio (T_s) se obtiene a partir de:

$$T_s = 309.07 + \frac{(1066.07 \alpha - 31.98 \epsilon)}{6.78 \epsilon h_c} - \frac{(890.94 \alpha^2 + 2153.8 \alpha \epsilon)}{6.78 \epsilon h_c^2} \quad (2)$$

donde:

α = absorptancia solar = 1 - reflectancia solar.

ϵ = emisividad térmica.

T_s = temperatura superficial en estado estacionario K.

h_c = coeficiente convectivo $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

T_b = temperatura superficial patrón negro K.

T_w = temperatura superficial patrón blanco K.

El índice de reflectancia solar se define como:

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \quad (3)$$

Se calcularon las temperaturas superficiales de los patrones, utilizando la ecuación (2) (Tabla 2).

Patrones	$\hat{\alpha}$	ϵ	TS (°K)	SRI (%)
Negro (Tb)	0.05	0.9	359	0
Blanco (Tw)	0.8	0.9	304	100

A través del cálculo de la ecuación (3) se obtuvieron los SRI del total de las muestras de pinturas (Tabla 3).

Resultados

Los resultados serán explicados de acuerdo al criterio de clasificación de pinturas para fachadas que se expresa en la Tabla 1.

En la primera parte, se analiza el desempeño térmico mediante el cálculo del índice de reflectancia solar de acuerdo a la composición y color de cada pintura.

En la segunda parte, con el propósito de profundizar los resultados derivados de la investigación, se analizan el costo económico de inversión de cada pintura, en relación a las prestaciones térmicas que brinda cada alternativa.

Índice de reflectancia solar de casos extremos

Del total de las muestras estudiadas, la pintura impermeable -P15- es el material que registra el comportamiento más eficiente. Alcanza el mayor nivel de reflectividad solar (SRI=99%) y una temperatura superficial de 305°K. Registrando valores de $\hat{\alpha}=0.83$ y $\epsilon=0.90$. En segundo y tercer lugar se ubican la pinturas acrílica -P13- con un SRI=95% y un $T_s=307^\circ K$ y el revestimiento impermeable -P14- (SRI=93%, $T_s=308^\circ K$).

Las pinturas más desfavorables son en orden descendente: pintura acrílica negra -P02- con una $T_s=354^\circ K$ y un SRI de 8%, en segundo lugar, la impermeable terracota -P16- (SRI=18%, $T_s=349^\circ K$). Dentro de las tonalidades blancas, las pinturas con menor índice de reflectancia solar (SRI) son la impermeable -P08-, y las acrílicas -P12-P11- con idénticos valores de SRI= 86% y de $T_s=312^\circ K$ (Tabla 3).

Tabla 2
Índice de reflectancia solar de superficies patrones iniciales.

Código	Color	â	ε	Ts (K°)	SRI (%)
PIN 01 - at.	blanco	0.79	0.93	311	88
PIN 02 - ac.	negro	0.3	0.98	354	8
PIN 03 -im.	blanco	0.81	0.95	310	89
PIN 04 - im.	blanco	0.82	0.95	309	90
PIN 05 - im.	blanco	0.83	0.95	309	91
PIN 06 - im.	blanco	0.81	0.9	310	88
PIN 07 - im.	blanco	0.82	0.9	310	89
PIN 08 - im.	blanco	0.78	0.95	312	86
PIN 09 - im.	blanco	0.8	0.93	311	87
PIN 10 - im	blanco	0.8	0.93	311	87
PIN 11 - ac.	blanco	0.79	0.93	312	86
PIN 12 - ac.	blanco	0.79	0.9	312	86
PIN 13 - ac.	blanco	0.84	0.9	307	95
PIN 14 - im.	blanco	0.82	0.9	308	93
PIN 15 - im.	blanco	0.83	0.9	305	99
PIN 16 - im.	terracota	0.45	0.95	349	18

Tabla 3
Enumeración de las pinturas látex para fachadas estudiadas, con sus respectivos códigos asignados; composición (ac: acrílica; im: impermeable; at: atérmica); color; albedo (â); emisividad (ε); temperatura superficial (Ts) en grados Kelvin; e índices de reflectancia solar (SRI) en porcentajes.

Sintetizando, los casos extremos analizados (P15-P02) presentan diferencias superiores al 91% en su capacidad para mitigar los efectos de la isla de calor. La pintura acrílica negra -P02- aumenta su temperatura 49°K más que la impermeable blanca -P15.

En la Figura 4 se grafican los comportamientos térmicos y características ópticas del total de las pinturas estudiadas, en relación a una superficie estándar negra y blanca utilizadas para el cálculo del índice SRI. En detalle D1, se amplía la información debido a la gran concentración de pinturas blancas que oscila entre un rango térmico de 312-305 °K y valores de reflectancia de 0.78-0.84.

Cabe destacar que la pintura atérmica (así difundida en el mercado) -P01- no demuestra tener el comportamiento más eficiente en relación al resto de los recubrimientos. Esta pintura se ubica en el noveno lugar (de los 16 casos evaluados) de acuerdo al valor de SRI, es decir en su habilidad para disminuir las cargas térmicas superficiales. Posee un SRI=88% y una diferencia térmica de 6°K con respecto a la pintura más fría -P15: pintura látex impermeable blanca (Tabla 3, ver P01 vs P15).

Registros térmicos entre pinturas látex acrílicas blancas (ac)

Si dejamos constante el color y evaluamos la incidencia de la composición, vemos que para

el caso de la composición acrílica, la pintura -P13- posee el mejor funcionamiento térmico. Con registros de temperatura superficial de 307°K y un SRI=95%.

Las pinturas acrílicas que presentan menores niveles de SRI son: -P11-P12-, alcanzando idénticos valores de Ts= 312°K y SRI= 86%. En adición, entre los casos extremos en pinturas acrílicas blancas se obtuvieron diferencias de 9% en su habilidad para disminuir las temperaturas superficiales (Tabla 3 y Figura 4).

Registros térmicos entre pinturas látex impermeables blancas (im)

Dentro de las muestras de composición impermeable, la pintura blanca -P15- consigue el mejor comportamiento. Este recubrimiento registra una Ts=305°K y un SRI=99%. En segundo y tercer lugar, se ubican las pinturas impermeables -P14- con una Ts=308°K, SRI=94% y la -P05- con una Ts=309°K, SRI=91%.

Las alternativas impermeables con menor capacidad para mitigar las cargas de calor de una ciudad, son: -P10-P09-P08- con un rango térmico superficial que oscila entre: 311-312°K y SRI entre 86-87% en los tres casos (Tabla 3 y Figura 5).

Es decir, que se relevaron diferencias de SRI entre los casos extremos de pinturas impermeables de 13%.

Comportamiento térmico

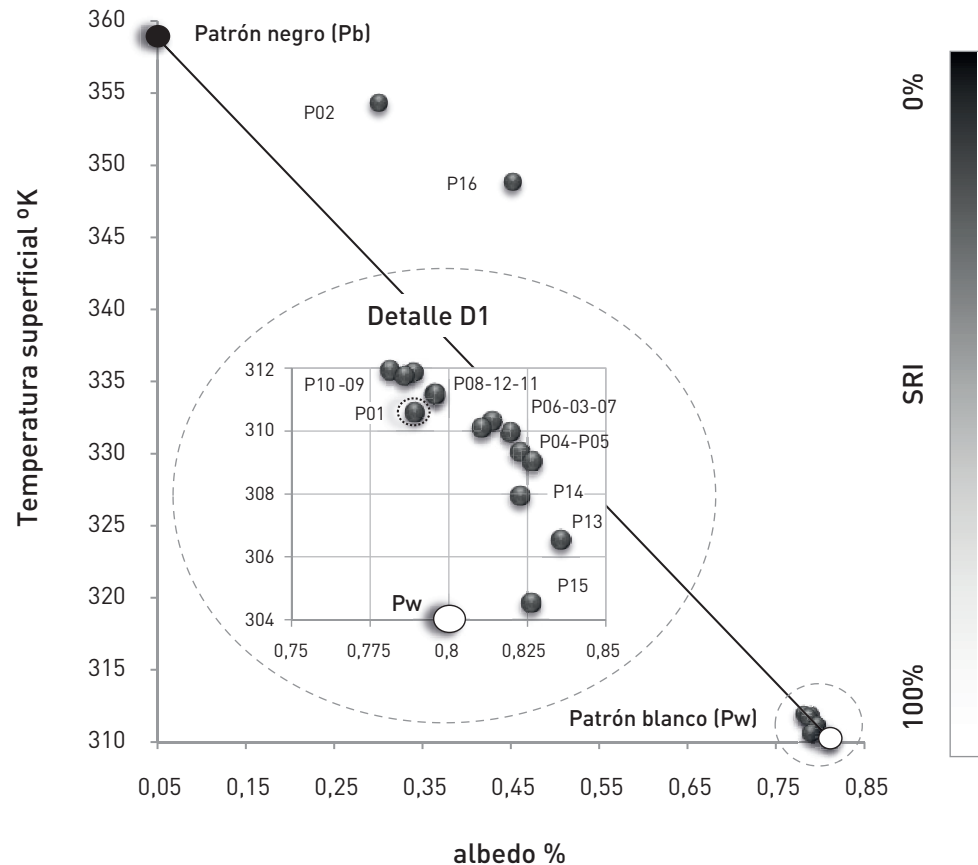


Figura 4
Índice de reflectancia solar (SRI), según temperatura superficial (°K) y albedo de pinturas para fachadas.

Costo de inversión inicial de pinturas

Se distinguen tres tipos de categorías de pinturas según costo por litro en el año 2012 (Tabla 3):

- > Gama económica: de 20 a 40 pesos.
- > Gama estándar: de 40 a 50 pesos
- > Alta gama: de 50 a 70 pesos.

Del total de las muestras evaluadas, se observa que el 50% de las mismas se encuentran dentro de la gama estándar, con un costo de 40 a 50 pesos por litro. Al comparar los casos extremos (P13 vs P05) detectamos que la pintura blanca acrílica -P13- es \$42 más económica por litro que la pintura -P05- de composición impermeable en el mismo color. Es decir que la composición es una variable incidente el costo final del producto.

Costo según composición

Las pinturas de composición acrílica (ac) integran la gama estándar y económica. Sus costos varían entre \$23 y \$47; dentro de este grupo, la alternativa más costosa es la pintura -P11. Dentro de las pinturas de composición impermeable (im) evaluadas, los precios de venta por litro oscilan de \$38 a \$65. Es decir, que el

material de composición impermeable presenta una amplia graduación de costos, integrando las gamas económica, estándar y alta. La pintura atérmica -P01- se clasifica dentro del rango de alta gama con un precio por litro de \$60 (Figura 5).

Relación costo-beneficio

En la Figura 6 se determina que las pinturas de gama económica -P13, P14- y la pintura -P15-, de gama estándar, muestran un comportamiento óptimo en lo que respecta a la relación entre los costos de inversión y su potencial de disminución de la carga térmica, en relación al resto de las alternativas estudiadas. La pintura -P13- es un recubrimiento de composición acrílica y muestra el funcionamiento térmico más eficiente en relación a su costo, con un SRI= 95% y precio por litro= \$23. En segundo y tercer lugar, se ubican los recubrimientos de composición impermeable: la pintura -P15- es la opción más fría con registros de SRI=99% y un costo de \$40, y, por último, la -P14- con un SRI=93% y un costo de \$38 por litro.

Los recubrimientos para fachadas de color

Costo de inversión por litro de pintura

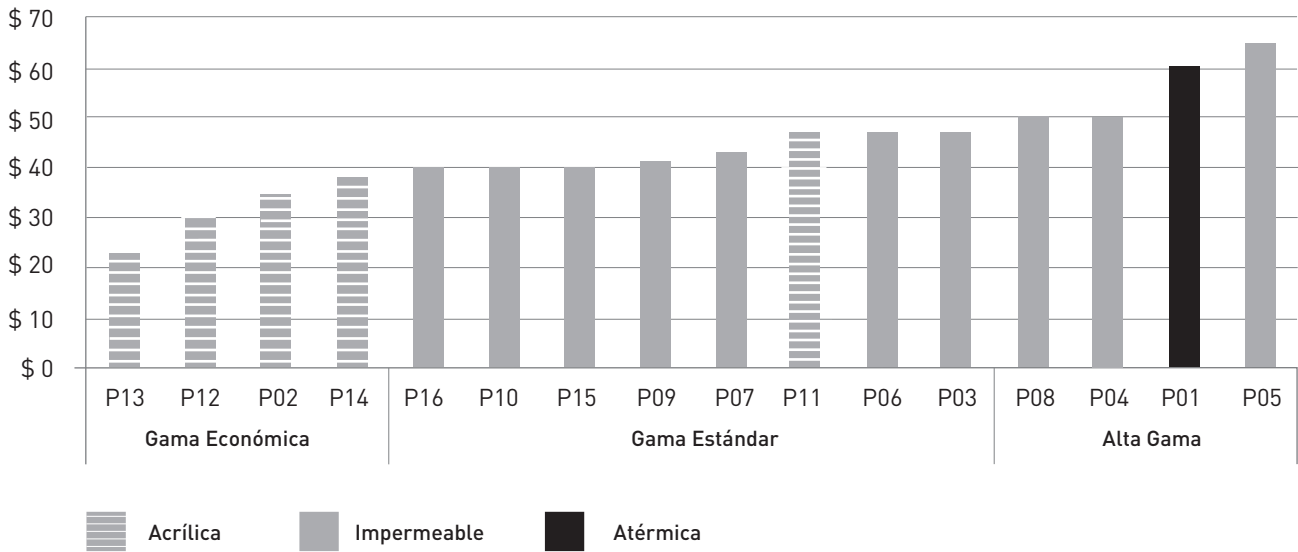


Figura 5
Costos de inversión inicial por litro de pinturas para fachadas.

blanco más desfavorables son en orden ascendente: la pintura atérmica -P01- con un SRI=88% y un costo=\$60, en segundo lugar la pintura impermeable -P05- con SRI=91% y un costo por litro= \$65, y por último la pintura impermeable -P08- con un SRI= 86% y un costo= \$50. En los tres materiales, los niveles de SRI no superan el 91%, mientras que su costo inicial es mayor a \$50 por litro.

Conclusiones

Dentro del estudio térmico de las pinturas seleccionadas, los resultados muestran que para una misma composición y color, se registraron diferencia térmicas superficiales de 7°K entre pinturas impermeables (P15 vs P08). Mientras que, para las composiciones acrílicas, se obtuvieron diferencias de 5°K (P13 vs P12).

Con respecto a la pintura -P01-, a pesar de su condición atérmica, no consigue alcanzar menores temperaturas superficiales que el resto de las alternativas, con un SRI=88% y registros de 311°K, es decir 6°K de temperatura superficial por arriba de la opción más eficiente (P15=305°K). En el caso de las pinturas látex de tonalidades oscuras (terracota y negro), éstas muestran un funcionamiento ineficiente respecto de su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas, con niveles de SRI inferiores al 19%.

El mayor costo económico inicial no es un indicador proporcional al potencial de disminución de la carga térmica que presenta la

pintura. Tal es el caso de la pintura impermeable -P15- que pertenece a una gama estándar y resulta ser el recubrimiento de mayor nivel de SRI (99%). Los recubrimientos -P13, P14- de gama económica también muestran un comportamiento eficaz, con porcentajes de SRI promedios de 94%

Es decir, que la selección de una pintura según su costo inicial no es un indicador de su eficiencia térmica, ni tampoco es estricta la definición en términos de mercado (ver comportamiento de recubrimiento presentado como atérmico). Es necesario un estudio más profundo, que pondere el potencial de cada recubrimiento para disminuir la carga térmica y, de esta forma, asegurar que su aplicación en la envolvente edilicia sea eficiente térmicamente pero, a la vez, resulte una alternativa eficaz en relación a su costo-beneficio.

En esta primera etapa, se seleccionaron mayoritariamente los colores blancos, pues el color claro en general posee un mayor albedo y, por lo tanto, un mejor comportamiento térmico. No obstante, las diferencias térmicas encontradas en las pinturas blancas (Δ SRI en pinturas acrílicas= 9% y Δ SRI en pinturas impermeables= 13%) ponen de manifiesto que no es suficiente la selección sólo del color para garantizar el mejor funcionamiento térmico. Es por ello que las prestaciones térmicas de las pinturas deben estar asociadas al comportamiento simultáneo de color y composición.

En etapas futuras, se determinará el desgaste de niveles de SRI producido por las condiciones de intemperie y acumulación de suciedad

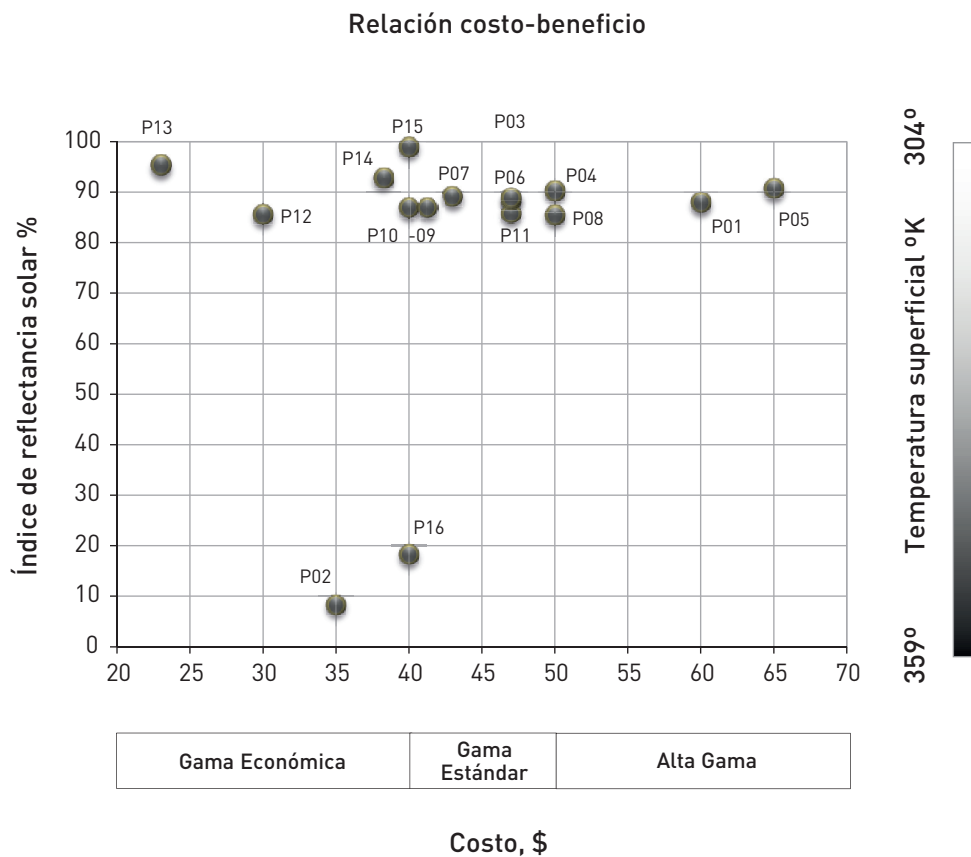


Figura 6
Relación costo-beneficio de pinturas para fachadas según su índice de reflectancia solar (SRI) en porcentaje y costo de inversión inicial en pesos.

en las pinturas, para ponderar el efecto del envejecimiento sobre el comportamiento térmico del material. Con ello, se pretende obtener una visión global de la durabilidad de cada pintura en relación a su costo a través de los años.

Resumiendo, en el mercado regional existe una amplia variedad de colores, composiciones y precios en pinturas para fachadas. En este trabajo, se ha optado por hacer un estudio pormenorizado de lo que *a priori* parece ser la mejor opción, desde el punto de vista del enfriamiento, es decir, el color blanco, y se han tomado dos extremos, el terracota y el negro, para evaluar la magnitud de la diferencia entre la mejor y la peor alternativa.

Los resultados muestran claramente que, aún para el caso de los blancos disponibles en el mercado, existen diferencias que alcanzan el 13% en cuanto a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas. Es de esperar que, si estas diferencias se encuentran entre muestras todas representativas de la mejor opción, tanto más se encontrarán cuando se amplíe la gama de colores, como se proyecta continuar a futuro. Un indicio de esto, surge del análisis del negro y terracota vs el blanco, con diferencias máximas de SRI que alcanzan valores

de 81 a 91% de diferencias con los blancos en su eficiencia para disminuir las temperaturas urbanas. Esto pone de manifiesto que resulta importante seleccionar la opción adecuada, cuando de pinturas de fachada se trata, como una estrategia pasiva para reducir el consumo anual de energía asociado a las cargas de enfriamiento y mejorar las condiciones de confort de los espacios urbanos y edificios, atendiendo además a los costos de inversión inicial que cada alternativa conlleva.

Respecto al abordaje de los costos de inversión, cabe aclarar que los resultados pretenden ajustarse mejor, considerando cómo el envejecimiento asociado a la exposición a las condiciones ambientales afecta la durabilidad y la eficiencia térmica de cada muestra evaluada. Es decir, que es posible que un mayor costo de inversión inicial, aunque en principio no resulte estrictamente vinculado a la eficiencia térmica del producto, con el tiempo pueda variar esta situación. Para corroborar esta hipótesis a futuro se hará un análisis de costo de ciclo de vida y eficiencia térmica para cada muestra ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E-1933-99a. 2006. "Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers", en <http://www.astm.org/> [Consulta: 10 de enero 2012].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E-1980-11. 2011. "Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces", en <http://www.astm.org/> [Consulta: 10 de enero 2012].

AVDELIDIS, Nicolas y Antonia MOROPOULOU. 2003. "Emissivity considerations in building thermography", *Energy and Buildings* 35, 663-667.

BODART, Magali, Rodrigue DE PEÑARANDA, Arnaud DENEYER y Gilles FLAMANT. 2008. "Photometry and colorimetry characterization of materials in day lighting evaluation tool", *Building and Environment* 43, 2046-2058.

CHENG, Vicky, Edward NG y Baruch GIVONI. 2005. "Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate", *Solar Energy* 78, 528-534.

DORNELLES, Kelen, Mauricio RORIZ, Víctor RORIZ y Rosana CARAM. 2011. "Thermal performance of white solar-reflective paints for cool roofs and the influence on the thermal comfort and building energy. Use in hot climates", *Solar World Congress. ISES. International Solar Energy Society*. Kassel, Alemania. October.

DOYA, Maxime, Emmanuel BOZONNET y Francis ALLARD. 2012. "Experimental measurement of cool facades performance in a dense urban environment", *Energy and Building* 55, 42-50.

DUFFIE, John y William BECKMAN (eds.). 1991. *Solar engineering of thermal processes* (Nueva York: Wiley Interscience ed.).

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2009. "Reducing urban heat islands: Compendium of strategies cool roofs", www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm [Consulta: 12 de julio 2012].

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (GBC). 2005. "Leadership in energy and environmental design. Green building rating system for new construction and major renovations" (LEED-NC). Version 2.2, US, 1-95, en www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_2009_Rating_HC_11_2011.pdf [Consulta: 10 de enero 2012].

GIVONI, Baruch. 1994. *Passive and Low Energy Cooling of Building* International (New York: Thomson Publishing, Inc.).

HALL, James, Michael KLEINMAN y Margarita COLOMA. 1992. "Valuing the health benefits of clean air". *Science* 255, 812-817.

KAI, Uemoto, Sato NEIDE y John VANDERLEY. 2010. "Estimating thermal performance of cool colored paints", *Energy and Buildings* 42, 17-22.

KARLESSI, Theoni, Matheos SANTAMOURIS y Afroditi SYNNEFA. 2009. "Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures", *Solar Energy* 83, 538-551.

KIPP & ZONEN PRODUCT CATALOGUE. www.kippzonen.com [Consulta: 5 de marzo 2012].

LEVINSON, Ronnen y Hashem AKBARI. 2002. "Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete", *Cement and concrete research* 32, (11), 1679-1698.

MUSELLI, Marc. 2010. "Passive cooling for air-conditioning energy savings with new radiative low-cost coatings", *Energy and Buildings* 42, 945-954.

RÖSSLER, Cristina. 2009. "Variaciones Rössler: Clima y energía", en www.conicet.gov.ar/NOTICIAS [Consulta: 5 de marzo 2012].

SANTAMOURIS, Matheos, Afroditi SYNNEFA y Theoni KARLESSI. 2011. "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions", *Solar Energy* 85, 3085-3102.

SYNNEFA, Afroditi y Matheos SANTAMOURIS. 2007. "On the development, optical properties and thermal performance of cool colour coatings for the urban environment", *Solar Energy* 81, 488-497.

TAHA, Haider, Hashem AKBARI, Arthur ROSENFELD y Joe HUANG. 1988. "Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo", *Building and Environment* 4, 271-283.

RECIBIDO: 7 de julio de 2013.
ACEPTADO: 22 mayo de 2014.

CURRÍCULUM

NOELIA L. ALCHAPAR es arquitecta graduada en la Universidad de Mendoza (2004). Es especialista en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano, Universidad Tecnológica Nacional (2012). Actualmente, es estudiante de doctorado y becaria de posgrado en el Consejo Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICET) Argentina. Su investigación se centra en el estudio de las propiedades termo-físicas y ópticas de los materiales de la envolvente edilicia como estrategia de desarrollo urbano sostenible. Los resultados han sido publicados en revistas científicas nacionales e internacionales con referato.

ERICA N. CORREA es ingeniera química y doctora en Ciencias en el Área de Energías Renovable con la tesis "Isla de calor urbano. El caso del Área Metropolitana de Mendoza" (2006). Es profesora titular de la Universidad Tecnológica Nacional e Investigadora en el Consejo Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICET) de la Argentina. Su actividad de investigación se centra en el estudio del efecto del microclima urbano en contextos áridos a lo largo de su ciclo de vida. Tiene proyectos de investigación financiados por organismos nacionales e internacionales y posee publicaciones en revistas nacionales e internacionales con referato.

MARÍA ALICIA CANTÓN es arquitecta graduada en la Universidad de Mendoza e investigadora en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Es profesora ordinaria FAUD – UM. Realiza investigaciones vinculadas al desarrollo urbano-edilicio sustentable. Dirige proyectos de investigación financiados por Anpeycy y posee publicaciones en revistas nacionales e internacionales con referato.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales -
INCIHUSA - CONICET
c.c. 131. c.p. 5500, Mendoza, Argentina

Tel: (0261) 5244322, Fax: (0261) 4287370
E-mail: nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar