



MÉTODOS DE EVALUACIÓN OPTO-TÉRMICA DE MATERIALES Y COMPONENTES DE LA ENVOLVENTE EDILICIA. SITUACIÓN EN ARGENTINA

OPTO-THERMAL METHODS FOR EVALUATING BUILDING ENVELOPE MATERIALS AND COMPONENTS: THE SITUATION IN ARGENTINA.

AYELÉN MARÍA VILLALBA

Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) -
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-6401-7085>
avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

NOELIA LILIANA ALCHAPAR

Doctora en Ciencias. Área Energías Renovables.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-2682-316>
nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

ERICA NORMA CORREA

Doctora en Ciencias. Área Energías Renovables
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1690-076X>
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

ANDREA ELVIRA PATTINI

Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-6305-1268>
apattini@mendoza-conicet.gob.ar

LEONARDO SANTONI

Ingeniero Agrónomo
Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
lejsantoni@gmail.com

RESUMEN

La Agencia Internacional de Energía, en su informe de fachadas energéticamente eficientes, sostiene que las envolventes edilicias tienen un rol fundamental en la tarea de determinar los niveles de confort térmico y visual, y los consumos de energía para el acondicionamiento termo-lumínico de los espacios habitables. En este marco, el presente trabajo tiene por objeto realizar una revisión del estado de la evaluación opto-térmica de materiales y componentes de la envolvente edilicia, con relación al contexto de transferencia y a las posibilidades de desarrollo tecnológico en Argentina, para la estimación de propiedades e indicadores energéticos de la envolvente edilicia.

La revisión muestra que, para efectivizar el ahorro energético derivado de la implementación de programas de certificación energética, es imperativo contar con bases de datos del comportamiento opto-térmico de materiales y tecnologías locales; y que, en el contexto socio-económico de los países en vías de desarrollo, esto demanda la exploración de metodologías de bajo costo.

Palabras clave

materiales, fachadas, metodología, índices, entorno

ABSTRACT

The International Energy Agency, in its report on energy efficient building facades, maintains that building envelopes play a fundamental role in determining thermal and visual comfort and energy consumption for indoor lighting and thermal conditioning. Within this framework, the goal of this article is to conduct a review of the opto-thermal evaluation of building envelope materials and components, regarding the state of transfer and possibilities for technology development in Argentina, in order to estimate the thermal and optical properties and energy indicators of building envelopes. This review shows that for energy-savings resulting from the implementation of energy certification programs to be effective, it is imperative to have databases on the opto-thermal behavior of local materials and technologies. It also demonstrates that in the socioeconomic context of developing countries, this requires the study of low-cost methods.

Keywords

materials, facades, methodology, indices, environment

INTRODUCCIÓN

El sector de la energía está actualmente en un periodo de cambio y reflexión. Las fuentes de energía convencionales son contaminantes y limitadas, por ello se hace imprescindible el rápido desarrollo de sistemas limpios y sostenibles. El aumento en la demanda de combustibles fósiles empleados para generar energía es cada vez mayor, lo que resulta en emisiones de dióxido de carbono y otras partículas contaminantes. En los últimos veinte años, el consumo mundial de energías primarias creció un 45% (BP, 2011) y las emisiones de dióxido de carbono se incrementaron, entre 1993 y 2011, en un 44% (World Energy Resources, 2013). En el año 2017, el consumo de energía primaria aumentó un 2.2%, frente al 1.2% de 2016, y fue el más importante desde 2013. En la más reciente década, el promedio del crecimiento anual fue de 1,7%, mientras que solo el año 2017, las emisiones de dióxido de carbono registraron un aumento del 1,6%, después de un reducido crecimiento observado entre 2014 y 2016 (BP, 2018). La excesiva presencia de estas partículas en la atmósfera terrestre intensifica el efecto invernadero, generando un aumento en la temperatura terrestre que conlleva al calentamiento global y al cambio climático. Aunque el sector edilicio consume entre el 30 y el 40% del total de energía a nivel mundial y genera una significativa cantidad de las emisiones de dióxido de carbono (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007; Pérez-Lombard, Ortiz y Pout, 2008), representa una de las áreas con mayor potencial de ahorro energético (International Energy Agency, 2011).

La IEA (Agencia Internacional de Energía), en su informe de fachadas energéticamente eficientes, sostiene que las envolventes edilicias -parte del edificio que conforma la barrera térmica y lumínica primaria entre el exterior y el interior- tienen un rol fundamental en la labor de determinar los niveles de confort térmico y visual, y los consumos de energía para el acondicionamiento termo-lumínico de los espacios habitables. Siendo uno de los puntos fundamentales avanzar en la disminución del consumo energético edilicio, es evidente la necesidad de disponer indicadores energéticos precisos que caractericen el comportamiento termo-lumínico de los materiales y componentes de la envolvente edilicia (IEA, 2013).

Desde los gobiernos centrales, regionales y locales se está legislando para incentivar el uso de energías renovables a nivel edilicio y urbano. Este esfuerzo inversor, cuando está bien canalizado, lleva a las empresas a recurrir a la investigación para el desarrollo de materiales, componentes o sistemas que hagan viable económicamente el uso de estas nuevas tecnologías que contribuyen a la mejora de la eficiencia edilicia.

En este marco, el presente trabajo propone como objetivo general realizar una revisión del estado de la evaluación opto-térmica de materiales y componentes de la envolvente edilicia, en relación al contexto de transferencia

y a las posibilidades de desarrollo tecnológico en la Argentina, para la estimación de propiedades e indicadores energéticos de la envolvente edilicia. La hipótesis postula que el conocimiento y la adaptación de metodologías, con rigurosidad técnica, ajustadas al contexto tecnológico, productivo, económico y social nacional, permiten efectivamente avanzar sobre la caracterización local de materiales de la envolvente, fomentando el desarrollo de tecnologías y mejorando su eficiencia energética.

Este estudio se enmarca en una línea de investigación en desarrollo dentro del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), que desde hace 10 años trabaja intensamente en la caracterización de materiales de construcción y sistemas de fachadas con el objetivo de alcanzar la eficiencia energética edilicia (Alchapar y Correa, 2015; Alchapar, Correa y Cantón, 2014; Alchapar y Correa, 2016; Villalba et al., 2017; Pattini et al., 2015; Mercado et al., 2013).

CONTEXTO DE TRANSFERENCIA

INTERNACIONAL

A nivel internacional, existe una creciente solicitud de servicios de certificación energética de componentes y tecnologías de la envolvente por parte de los profesionales y la industria de la construcción. Este crecimiento de la demanda se evidencia en el mercado internacional de tecnologías edilicias energéticamente eficientes, que hasta el 2014 era 307 mil millones de dólares, de los cuales 68 mil millones de dólares provenían de la aplicación de estrategias de rehabilitación edilicia (Navigant Research, 2018; Business Wire, 2014). Cabe destacar que el mayor segmento del mercado de la construcción energética eficiente es el de las tecnologías y materiales de la envolvente edilicia (Navigant Research, 2014). Esto se debe a que entidades gubernamentales y de servicios públicos otorgan incentivos y rebajas en los costos de energía cuando se aplican tecnologías y materiales eficientes energéticamente.

El principal mercado de edificios con eficiencia energética mejorada es Europa Occidental, el que ha sido impulsado por los altos precios de la energía y los estrictos códigos de construcción respecto a la eficiencia energética. América del Norte y la región de Asia y el Pacífico son también mercados con una creciente importancia. Por ejemplo, el mercado de materiales aislantes de China ha experimentado un rápido incremento desde el año 2000, con tasas de crecimiento anual promedio que superan el 15%, entre 2006 y 2010; concretamente, durante el mismo período, la cuota del mercado para el vidrio de baja emisividad aumentó del 1.3% al 7% (Zhou, 2014).

En esta misma línea, la integración de tecnologías y equipos de mayor eficiencia energética en los edificios puede reducir aún más el uso de energía del sector. Así,

Laboratorio / Empresa Internacional	Propiedad	Norma	Ciudad, país
NKUA	albedo	ASTM E903-12	Athens, Greece
TIPEE		ASTM E903-12; ASTM C1549-09	Lagord, Francia
EELab		ASTM E903-12; ASTM C1549-09. ASTM1371	Modena, Italy
Architectural Testing / Intertek		ASTM C1549; E1918; TILE&CRRC-1; TILE TEMPLATE METHOD. ASTM C1371; SLIDE METHOD	Wisconsin, EEUU
PRI Construction Materials Technologies, LLC	albedo	ASTM C1549; E1918; TILE&CRRC-1; TILE TEMPLATE METHOD. ASTM C1371; SLIDE METHOD	Florida, EEUU
R&D Services, Inc.	emisividad	ASTM C1549; TILE&CRRC-1; TILE TEMPLATE METHOD. ASTM C1371; SLIDE METHOD	Tennessee, EEUU
Momentum Technologies International		ASTM C1549; E1918; TILE&CRRC-1; TILE TEMPLATE METHOD. ASTM C1371; SLIDE METHOD	Ohio, EEUU
Underwriters Laboratories, Inc. (UL)		ASTM C1549; TILE&CRRC-1; TILE TEMPLATE METHOD. ASTM C1371; SLIDE METHOD	Illinois, EEUU
Intertek	U - v a l u e ; SHGC; VT	NFRC 102; NFRC 201; NFRC 202	EEUU
Quast Consulting & Testing			Mosinee, WI, EEUU
National Certification Testing Laboratory		NFRC 102	Northwest Pennsylvania EEUU
Fenestration Testing Laboratory			Medley, FL, EEUU
Element Materials Technology	U-value		EEUU; Europa
CLEB Laboratory, Inc			EEUU; Canadá
ViPAC Engineers & Scientists		AS2047	Australia
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.		EN ISO 12567-1 - EN 673	Finlandia

Tabla 1. Detalle de laboratorios y empresas en Oceanía, América del Norte y Europa que brindan servicios de caracterización óptica, de acuerdo a norma de referencia y lugar de radicación. Fuente: Elaboración de las autoras.

en los Estados Unidos, el uso combinado de paredes, ventanas y HVAC (sistemas de climatización) más eficientes energéticamente, en 5 años reducirían la demanda de energía primaria para refrigeración residencial y comercial en un 61% y 78%, respectivamente; la demanda de energía primaria de calefacción en edificios comerciales, en un 77%; y virtualmente eliminarían las fuentes externas de calefacción para edificios residenciales con la contribución del calor residual de los electrodomésticos y los ocupantes (US DOE, 2015).

La oferta de servicios que caracterizan el comportamiento termo-energético de los componentes de la envolvente edilicia, a nivel internacional, es amplia. En la Tabla 1 se detallan los principales laboratorios y/o empresas internacionales de pruebas acreditados de acuerdo al servicio prestado. Las principales regiones que presentan la mayor cantidad de empresas en el rubro estudiado son América del Norte y Europa. Esto se pone de manifiesto

en la Figura 1, que describe los países o regiones de acuerdo a la madurez en su nivel de infraestructura de ensayos y etiquetado de componentes y materiales de la envolvente edilicia (IEA, 2013). El precio de los servicios de caracterización óptica de laboratorios y empresas internacionales asciende a 2000 libras, es decir, US\$ 2400.

Respecto a la situación en América de Sur, se observa que Brasil trabaja activamente en el desarrollo de programas para etiquetar componentes de la envolvente edilicia (IEA, 2013). La adopción de medidas regulatorias que promuevan la eficiencia energética ha estado en su agenda de gobierno desde la década de 1980. Sin embargo, los proyectos se han intensificado en los últimos años, junto con el consumo energético y el crecimiento económico y demográfico (EPE, 2015). Cuenta con numerosas normas que regulan los requisitos de rendimiento térmico del edificio: Ley 10,295, Ley 9991, PROCEL 1985; y con varios programas relacionados con el etiquetado energético de

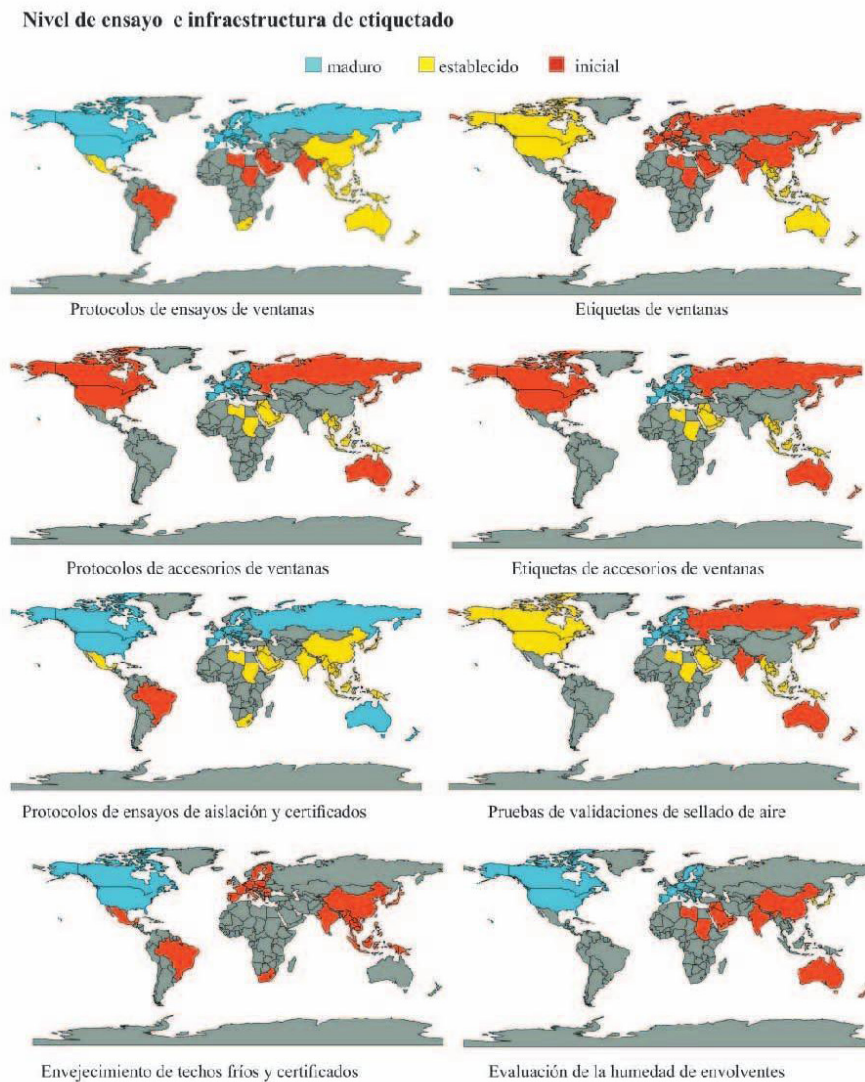


Figura 1. Estado de la evaluación de materiales de la envolvente edilicia, clasificación y etiquetado (IEA, 2013). Fuente: IEA, 2013, adaptada por las autoras.

edificios y sus componentes: Edifica PBE 1981 y 2005. Como objetivo a medio plazo, busca establecer gradualmente el etiquetado edilicio obligatorio, según tipología edilicia (Silvero et al., 2019).

Desde 1994, Chile comienza a trabajar de manera escalonada y continúa en el desarrollo de normativas y programas para el acondicionamiento térmico de viviendas. Esta actividad se profundiza a partir del año 2005 mediante políticas y programas que fomentan eficiencia energética de viviendas. Muchas de las acciones llevadas a cabo han sido desarrolladas por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética y la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G (*ibidem*). Actualmente, Chile presenta un programa de Calificación Energética de Viviendas (CEV) instrumentado desde 2012 por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), en conjunto con el Ministerio de Energía. Esta herramienta requiere información sobre la *performance* energética de ventanas y aislación de

muros (MINVU, 2018). En 2015, Chile lanza el programa de Políticas Energéticas Chile 2050, que involucra robustas políticas de eficiencia energética edilicia.

Uruguay, en tanto, posee un Programa de Normalización y Etiquetado del Proyecto de Eficiencia Energética, implementado en 2006 por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), para productos y equipos de consumo energético y edificaciones. Este programa prevé asistencia técnica y económica para mejorar la eficiencia energética de las construcciones (MIEM, 2018).

ARGENTINA

A escala local, el aumento del precio de la energía y el progresivo retiro de los subsidios a la misma han dado lugar a una gran expectativa sobre la eficiencia energética de la construcción. La Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia

Norma	Sección en la norma	Indicador o propiedad	Definición
LEED	SS 7.1: Reducción de islas de calor: Pavimento SS 7.2: Reducción de islas de calor: Cubiertas Calidad del ambiente interior. Cubiertas	Índice de reflectancia solar (SRI)	Índice opto-térmico que estima la capacidad de una superficie de reflejar la radiación solar recibida.
	Iluminación natural y vistas	Transmitancia visible (TV)	Propiedad óptica que indica la fracción de luz visible (380 - 780 nm) transmitida a través un material.
IRAM 11900 IRAM 11605 LEED IRAM 11507	-IRAM 11900: Energía primaria para calefacción. Flujo de energía de origen solar. -IRAM 11605 (IRAM, 1996): Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. -IRAM 11507: Metodología de cálculo. Transmitancia térmica. -LEED. -Calidad del ambiente interior. Cubiertas. Ventanas.	Coefficiente global de transferencia térmica (U) [W/m ² °C]	El calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralela. Involucra tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, radiación y convección.
IRAM 11900	-Energía primaria para calefacción. Flujo de energía de origen solar.	Reflectancia solar o albedo (â)	Fracción del flujo solar reflejada por una superficie. Su inversa la absorptancia solar (a) es la fracción del flujo solar absorbida por una superficie.
	ILUMINACIÓN Coeficiente de utilización (cu).	Reflectancia visible	-fracción de radiación visible incidente reflejada por una superficie.
IRAM 11507 LEED	-IRAM 11507-6: 2018 -Metodología de cálculo factor solar. -LEED. -Ventanas.	Coefficiente de ganancia solar térmica o factor solar (SHGC – FS)	-es la fracción de radiación solar incidente que ingresa a través de una ventana, tanto la directamente transmitida y la absorbida y consecuentemente liberada hacia el interior.

Tabla 2. Enumeración y definición de indicadores o propiedades que aplican o demandan en sus requisitos diferentes normas de certificación de eficiencia energética de aplicación local. Fuente: Elaboración de las autoras.

Energética (2018), que corresponde a la Secretaría de Planeamiento Energético del Ministerio de Energía y Minería, plantea entre sus objetivos principales: (1) proponer, implementar y monitorear programas para un uso eficiente de los recursos energéticos, en la oferta, transformación y consumo; y, (2) evaluar y proponer alternativas regulatorias buscando mecanismos de promoción de la eficiencia y el ahorro de energía. Para alcanzar estos objetivos se proponen diversos programas de etiquetado de componentes, entre los que se destacan, a nivel comercial, residencial y público, el Programa de Etiquetado de Eficiencia Energética (Ministerio de Energía y Minería, MINEM, 2018) (lámparas, electrodomésticos y gasodomésticos) y el Etiquetado de Eficiencia Energética en Inmuebles Destinados a Vivienda. Además, este organismo prevé avanzar en el etiquetado de eficiencia energética de ventanas exteriores (Ministerio de Hacienda, 2018). Si bien este en vigencia actualmente, el subcomité de Normas IRAM 11507-6 (2018) se encuentra desarrollando los últimos ajustes para su implementación.

Desde el año 2013, la Secretaría de Estado de la Energía de la provincia de Santa Fe trabaja en el desarrollo de un sistema provincial de certificación de eficiencia energética de inmuebles destinados a vivienda. Esta iniciativa tiene por objetivo clasificar y catalogar un inmueble en función a su consumo energético, de manera análoga a como se viene haciendo con los electrodomésticos y gasodomésticos. La

etiqueta de eficiencia energética en viviendas permitirá determinar un "índice de prestación energética" (IPE). La Dirección de Programas en los sectores Residencial, Comercial y Público participa de esta iniciativa en conjunto con la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en las distintas etapas que conllevan al desarrollo de la normativa y certificación del etiquetado de viviendas, como también el estudio, publicación, difusión e implementación de la norma. A la fecha, ya se realizó una prueba piloto en la ciudad de Rosario y se está promoviendo la realización de nuevas pruebas piloto en las provincias de Mendoza y Neuquén. Este procedimiento se realizará de acuerdo a Norma IRAM 11900 (2017) "Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo".

Otro programa de uso voluntario que se lleva adelante en la Argentina es un sistema de certificación edilicia desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council), denominado LEED (USGBC, 2018) (sigla de Leadership in Energy & Environmental Design) que se implementa desde el año 1993 en varios países. Hasta el momento en Argentina hay 49 edificios registrados en este programa, de los cuales han sido certificados 7.

Estos programas y normas de certificación energética de vivienda ponen en relevancia la imperiosa necesidad de obtener datos, precisos y contextualizados, de los materiales y tecnologías de mayor difusión en el parque edilicio nacional. Los indicadores y propiedades requeridos por estas normas y programas para la caracterización de materiales y componentes de la envolvente edilicia se detallan en la Tabla 2.

Las exigencias que provienen de instituciones públicas, tales como el Ministerio de Energía de la Nación, gobiernos provinciales y municipios, a través de regulaciones, programas y códigos de certificación energética urbano-edilicia, demandan a las empresas la caracterización opto-térmica de los componentes y materiales que conforman la envolvente. Si bien hoy, en Argentina, existen laboratorios de ensayos para los etiquetados obligatorios de eficiencia energética de electrodomésticos, gasodomésticos y lámparas, aún no existen laboratorios que realicen ensayos de comportamiento energético de ventanas (U y FS), ni aquellos que aporten datos precisos respecto al desempeño energético de componentes opacos de fachadas y cubiertas, fundamentales para la certificación energética de viviendas.

En el mercado nacional, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), ubicado en Buenos Aires, es el único proveedor de servicios de caracterización de componentes edilicios. Los servicios de caracterización ofrecidos por el INTI son: transmisión de calor en muros y paneles, ensayos de comportamiento térmico de materiales; transmisión de vapor de agua de materiales; ensayos de estanquidad en DVH; ensayos de condensación en DVH; ensayos del índice de penetrabilidad de vapor en DVH; determinaciones espectrales en ámbitos UV- Visible NIR; determinación de color y blancura; ensayos mecánicos de carpintería de obra; ensayos físicos de carpintería de obra (infiltración de aire, estanquidad al agua de lluvia y resistencia a la carga de viento). El precio de estos servicios oscila entre los US\$ 67 y los 600. Sin embargo, estos servicios no cubren la totalidad de los requeridos por las normas mencionadas anteriormente en la Tabla 2: SRI inicial y SRI envejecido, Albedo, Emisividad, Transmitancia visible, U-valor (ventanas), Factor solar e Índice de transmitancia solar (STI).

Asimismo, existen en Argentina diversos centros de investigación que producen avances en el campo de la caracterización opto-térmica de materiales. En relación a la problemática abordada en este trabajo se citan algunas de las instituciones de ciencia y técnica:

- El Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO), provincia de Salta (Grupos asociados: Catamarca), presenta las siguientes líneas de investigación: acondicionamiento térmico con materiales de cambio de fase, ahorro y eficiencia energética, edificios bioclimáticos, fotovoltaico y electrónica aplicada a las energías renovables y metrología óptica.
- El Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV) e Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV) de la provincia de Tucumán, en su conjunto, son considerados un centro de referencia en América Latina.

Esta institución realiza diversos servicios de caracterización óptica de lámparas y materiales: Laboratorio de Fotometría, Laboratorio de Radiometría, Laboratorio de Ensayos Eléctricos y Laboratorio de Ensayos de Seguridad.

- El Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) de la provincia de Buenos Aires, La Plata, ofrece numerosos servicios tales como: caracterización radiométrica de fuentes luminosas y detectores; calibración de equipamiento óptico; diseño de dispositivos de visión automática, etc.
- El Grupo de Optoelectrónica y Metrología Aplicada (LOMA) del Centro de Ensayos No Destructivos y Estructurales - CENES de la UTN-FR del Delta, de la provincia de Buenos Aires, lleva a cabo estudios vinculados al desarrollo de técnicas para la caracterización óptica de materiales.
- El Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), de la provincia de Mendoza, aborda problemáticas referidas a las energías renovables en arquitectura, construcción y equipamiento, el diseño urbano bioclimático y la iluminación natural y eficiente, entre otras.

Uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la actividad a nivel local es la elevada inversión inicial requerida para adquirir el nuevo instrumental/equipamiento para iniciar la prestación del servicio. Dichos instrumentos provienen del exterior y deben ser abonados en dólares. Además, se requiere de varios períodos para recuperar el capital invertido, haciéndose necesario contar con un importante respaldo económico o financiero. Con el objetivo de reducir costos y fortalecer capacidades, se han realizado numerosas experiencias de trabajo colaborativas entre centros de investigación a nivel nacional, tales como INENCO-CNEA (Bolzi, Tamasi y Cadena, 2016) e INENCO-INAHE (García et al., 2010). En tal sentido, la Asociación Argentina de Energías Renovables (ASADES) y la Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL) organizan periódicamente encuentros en donde se promueve y estimula la conformación de redes o grupos de trabajo que permiten avanzar sobre el desarrollo científico-tecnológico de acuerdo al contexto nacional, fortaleciendo de esta manera el avance en áreas como la discutida en este trabajo: desarrollo de metodologías para la caracterización opto-térmica de componentes y materiales de la envolvente edilicia.

CONTEXTO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO-METODOLÓGICO

En Argentina, la afluencia de nuevos materiales en la industria de la construcción ha aumentado en la última década. No obstante, la información de las propiedades ópticas de los materiales disponibles localmente es muy limitada y, al mismo tiempo, la caracterización del material de construcción recientemente desarrollada tampoco es de dominio público. Con el fin de optimizar tanto la eficiencia energética de materiales y componentes de la construcción, como el aprovechamiento y uso racional de la energía derivado de la selección adecuada de los mismos, es esencial que dicho conocimiento se genere y se difunda entre todas las partes interesadas -industria, comercio, usuarios, gobierno, sistema científico-. La generación de bases de datos de propiedades ópticas que caractericen los materiales y tecnologías de uso e industria nacional, mejorará

ÍNDICE	PROPIEDAD OPTO-TÉRMICA	METODOLOGÍA VALIDADA	INSTRUMENTAL DE MEDIANO Y BAJO COSTO
Índice de reflectancia solar (SRI)	Albedo /Absortancia (α)	Akbari, Levinson y Stern (2008).	Albedómetro (tipo "Kipp & Zonen CMA11", rango espectral de 285 a 2800 μm)
		Método variante de la norma ASTM E 1918-97	
ASTME1980-11	Emisividad superficies opacas (2)	ASTM E1933-14 (ASTM, 2014)	Termocupla T incorporada a data loggers. Termómetro (tipo "IR Fluke 568" con ajuste de emisividad)
	Temperatura superficial (Ts)	Doulos, Santamouris y Livada (2004).	Termocuplas tipo T incorporadas a un data loggers Cámara termográfica infrarroja (tipo "Fluke Ti 55")
	Emisividad (2) superficies especulares	Flores y Hongn (2014).	Cámara termográfica infrarroja (tipo "Fluke Ti 55" y fuente de radiación IR)
Índice de transmitancia solar (STI)	Resistencia térmica (R-valor) y transmitancia térmica (U-valor)	ISO 9869 (ISO, 2014)	Sensor térmico (tipo Hukseflux HFP01)
	Temperatura (T) y flujo de calor (Iz)	ASTM-C 1155-95-13 (ASTM, 2013)	Termocupla tipo T incorporadas a data loggers. Cámara termográfica infrarroja (tipo Fluke Ti 55)
Muscio y Akbari (2017).	Albedo /Absortancia (α)	Akbari, Levinson y Stern, 2008.	Albedómetro (tipo "Kipp & Zonen CMA11", rango espectral de 285 a 2800 μm)
		Método variante de la norma ASTM E 1918-97	
	Emisividad superficies opacas (2)	ASTM E1933-14 (ASTM, 2014)	Termocupla T incorporada a data loggers Termómetro (tipo "IR Fluke 568" con ajuste de emisividad)
	Emisividad (2) superficies especulares	Flores y Hongn (2014).	Cámara termográfica infrarroja (tipo Fluke Ti 55) Fuente de radiación IR.
U-valor	Temperatura de aire	Villalba et al. (2017).	Termocuplas T incorporada a data loggers (tipo Lab Jack)
			Piranómetro (tipo LICOR LI-200SA)
			Lámpara de tungsten halogenado de 1000 W (tipo Philips Halogen linear lamp 8727900881264 1000 W R7s cap 220-240 V Warm White)
Factor Solar	Radiación incidente (300nm - 2800nm)		Resistencia eléctrica (potencia 120 W)
	Temperatura de aire		Medidor de caudal
	Temperatura de agua		Equipamiento específicamente desarrollado para esta finalidad
Transmitancia solar (300nm - 2800nm)	-transmitancia a la radiación solar global y difusa	Romero-Gámez et al. (2012)	Piranómetro (tipo CM6B, Kipp & Zonen)
			Piranómetro con anillo de sombreado (tipo CM121B, Kipp & Zonen)
			Logger (tipo LOGBOX SE Data Logger)
Transmitancia PAR	-transmitancia global a la radiación fotosintéticamente activa	Romero-Gámez et al. (2012)	Sensor PAR (tipo SKP215/S, Sky Instruments)

Transmitancia visible (400nm - 700nm)	Transmitancia visible a incidencia normal	NFRC 202-2010 (NFRC, 2010)	Sensor fotométrico (tipo LICOR LI-210R)
			Medidor para sensores de luz (tipo LI-250A)
			Equipamiento específicamente desarrollado para esta finalidad
	Transmitancia normal-normal (vidrio claro)	Fontoynt (1999).	Sensor fotométrico (tipo LICOR LI-210R)
Transmitancia hemisférica-hemisférica (vidrio claro o translúcido)	Medidor para sensores de luz (tipo LI-250A)		
	Medidor de luminancia (tipo LICOR LS-160)		
Reflectancia visible (400nm - 700nm)	Reflectancia hemisférica-hemisférica	Fontoynt, 1999	Medidor de luminancia (Tipo Konica Minolta LS 110)
	Reflectancia especular		Cartilla de referencia blanca y gris - de reflectancia conocida-
	Reflectancia a la luz visible (LVR), a 30°, 60° y 90°	Lauria et al. (2018).	Lámpara LED 1500 lm TCC 4000 K, IRC 80
			Foto-radiómetro (Tipo Delta Ohm HD 2102.2)
			Equipamiento específicamente desarrollado para esta finalidad
	Reflectancia difusa media ponderada de una superficie	Mardaljevic, Brembilla y Drosou (2015).	Cámara digital común (tipo Nikon Coolpix 5400)
Medidor de luminancia (Tipo Konica Minolta LS 110)			
		Cartilla de referencia blanca y gris - de reflectancia conocida-	

Tabla 3. Índices y propiedades opto-térmicas de acuerdo a metodología y el instrumental de mediano y bajo costo requerido. Fuente: Elaboración de las autoras.

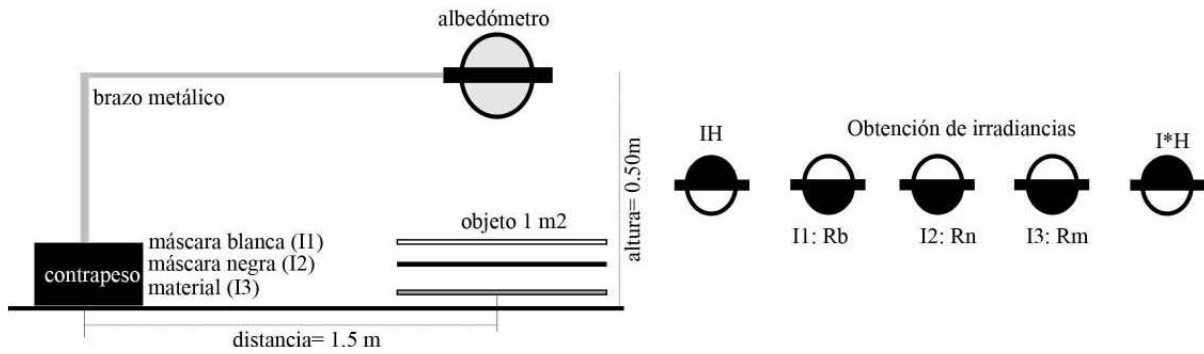
la fiabilidad de las predicciones y el análisis de precisión del comportamiento energético a escala edilicia y urbana.

En los países que se encuentran a la vanguardia de la investigación científica, la caracterización de materiales se realiza mediante equipamiento de alta gama -goniofotómetros, espectrómetros de amplio rango espectral, etc. Estos instrumentos se encuentran disponibles en escasos centros de investigación de vanguardia a nivel internacional. Tan solo cuatro laboratorios a nivel mundial cuentan actualmente con equipamiento que permite desarrollar caracterización completa de bases de BSDF (función de distribución de transmitancia y reflectancia bidireccional), entre ellos el prestigioso Lawrence Berkeley, EE.UU.; Zumtobel Staff AG, Austria; Solar Energy Research Institute of Singapore; Facade Technologies Lucerne University of Applied Science and Arts; Competence Centre Envelopes and Solar Energy; Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany.

Es relevante destacar que muchos de los procesos de certificación y caracterización energética se realizan a través de simulaciones. Con este propósito se han confeccionado diversas bases de datos que sirven de input para estos programas. Estas bases de datos contienen información de los materiales y componentes que se utilizan en las regiones donde se desarrollan estos simuladores, generalmente Norteamérica y Europa. Aunque el empleo de simulación, durante la etapa

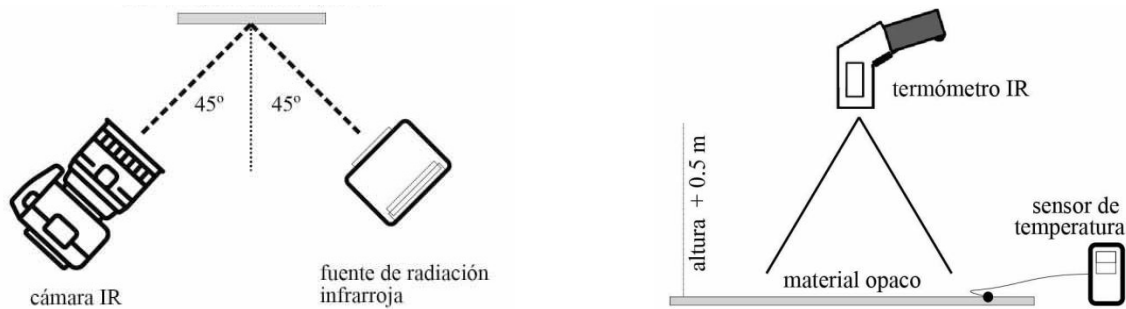
proyectual y de elección de materiales y sistemas, permite optimizar el desempeño energético tanto de componentes como de espacios, la utilidad y validez de los resultados de los modelos de predicción dependen de la calidad y exactitud de los datos de entrada -propiedades ópticas y térmicas de los materiales-. Sin embargo, la realidad económica nacional, dificulta la posibilidad de adquisición del equipamiento necesario para la determinación de estas propiedades, que implica altos costos de compra y mantenimiento. Por lo tanto, resulta de fundamental importancia diseñar metodologías y/o técnicas de medición asequibles (adaptación de instrumental), para estimar propiedades ópticas de materiales y componentes de la envolvente, susceptibles de ser incorporadas a las bases de datos empleadas en la simulación energética urbano-edilicia local.

En este marco, el siguiente apartado del trabajo propone como objetivo efectuar una revisión de metodologías para la estimación de propiedades ópticas de materiales opacos y transparentes de la envolvente edilicia con instrumental de mediano y bajo costo. El propósito es analizar las distintas posibilidades metodológicas e instrumentales, para la caracterización de propiedades ópticas a nivel local. En la Tabla 3, se detallan los índices, las propiedades opto-térmicas, las metodologías y el instrumental de mediano y bajo costo, y en las Figuras 2 a 16, se grafica de manera simplificada las metodologías.



El método de ensayo cubre la medición de la reflectancia solar de diversos materiales opacos horizontales y de poca pendiente, con una superficie de 1m², utilizando un albedómetro y un par de máscaras de referencia (blanca y negra). La irradiancia solar que incide sobre el sensor inferior del albedómetro, es un promedio ponderado de la radiación del sol reflejada por el área del objeto y la reflejada de sus alrededores. Este método determina la reflectancia de un área mediante tres mediciones consecutivas de luz solar reflejada (I1: máscara blanca - Rb-; I2: máscara negra - Rn- y I3: superficie del material)

Figura 2. Metodología de medición de albedo o reflectancia solar. Fuente: Akbari, Levinson y Stern, (2008), adaptada por el autor.

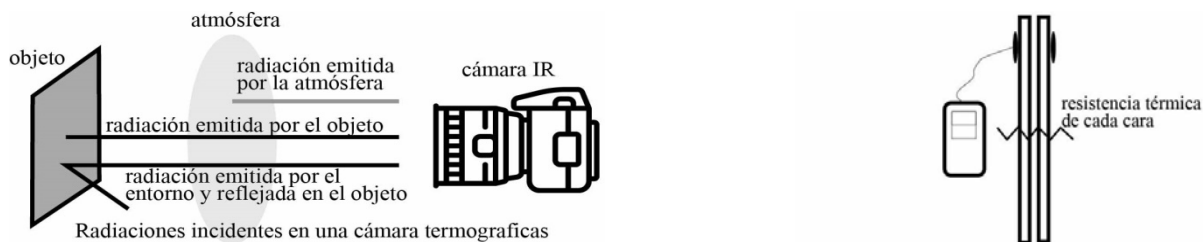


La metodología estima la reflectancia especular en el rango del IR lejano a distintos ángulos de incidencia para muestras especulares de aluminio y vidrio, mediante la utilización de una cámara termográfica y una fuente de radiación tipo calibrador de IR. El procedimiento consiste en tomar dos imágenes termográfica (fuente y reflejo en la superficie especular). A continuación se coloca la muestra reflectante en el vértice principal de un triángulo isósceles.

Este método de prueba cubre los procedimientos para medir y compensar la emisividad de un material opaco, a través del registro de temperatura superficial de la muestra con un radiómetro de imagen infrarroja. El método emplea un sensor de temperatura asociado a un data logger. El valor del flujo radiante emitido por el material es comparado con el dato que registra un termómetro infrarrojo con un ajuste de emisividad.

Figura 3. Metodología de medición de emisividad térmica para materiales opacos ASTM E1933-14 (ASTM, 2014).

Figura 4. Metodología de medición de emisividad térmica para materiales especulares. Fuente: Flores y Hongn (2014), adaptada por las autoras.

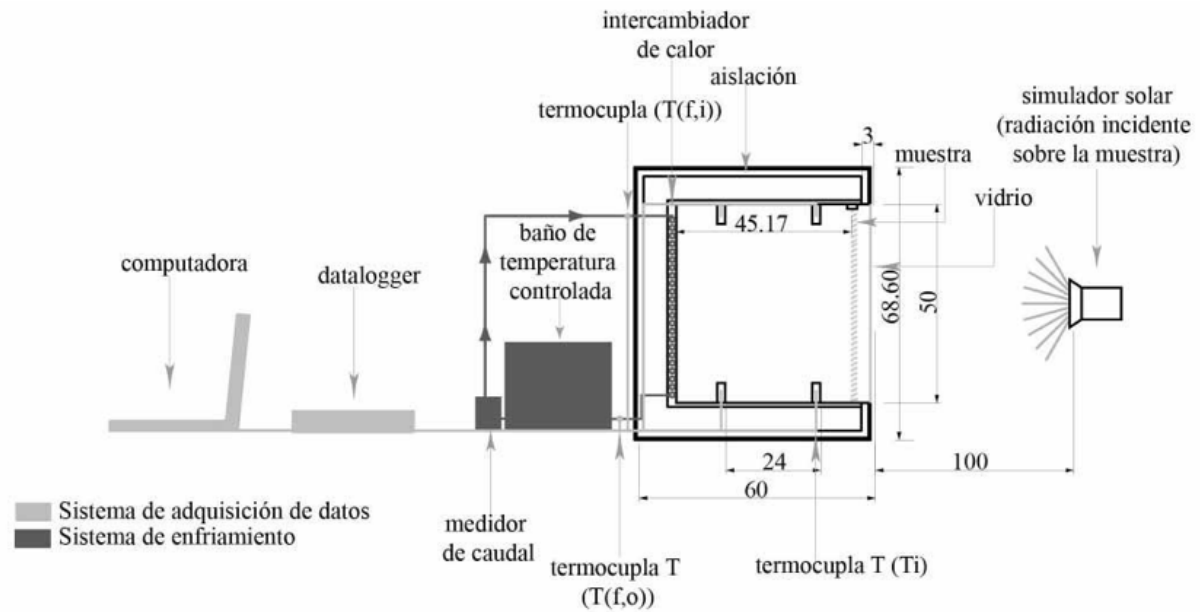


La termografía infrarroja es un método no destructivo que estima la temperatura superficial de un objeto utilizando una cámara infrarroja. *In situ*, este ensayo puede incurrir errores de procedimiento, es por ello que se deben considerar los siguientes puntos: conocer la emisividad de la superficie del objeto; considerar las radiaciones provenientes de los alrededores del objeto y reflejadas por el mismo; el objeto debe estar ubicado en un ángulo correcto y abarcando todo el campo de visión de la cámara. Para alcanzar mayor certeza en el método se contrastan los valores obtenidos por un sensor de temperatura tipo termocupla T.

Método de prueba estándar para determinar la resistencia térmica de los componentes de envolvente de edificio a partir de los datos in situ. Mediante mediciones in situ de temperaturas y flujos de calor en las envolventes urbano-edilicias. Esta práctica proporciona una estimación de valor de R en estado estacionario

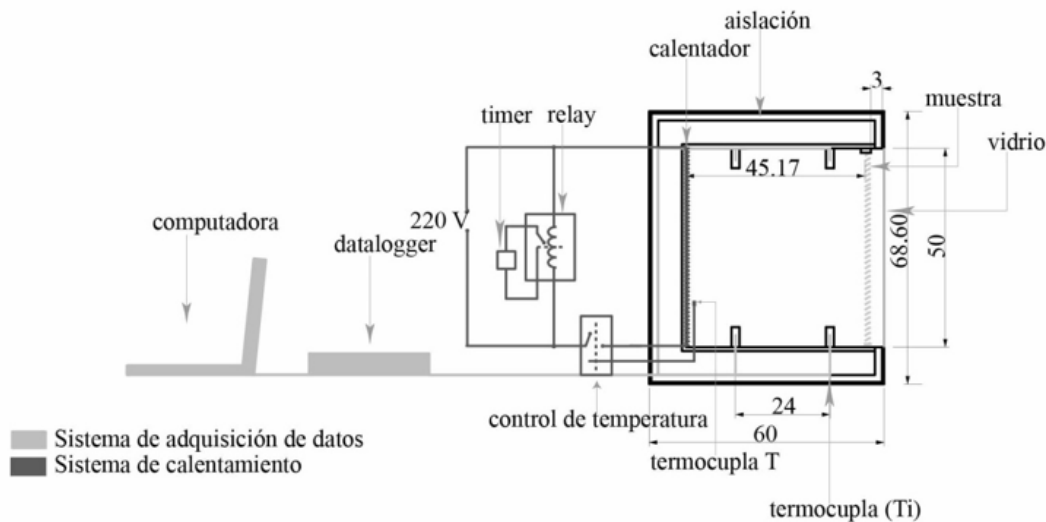
Figura 5. Metodología de medición de temperatura superficial con cámara termográfica. Fuente: Doulos Santamouris y Livada (2004), adaptada por el autor.

Figura 6. Metodología de medición de transmitancia térmica ASTM C1155-95 (ASTM, 2013). Fuente: Elaboración de las autoras.



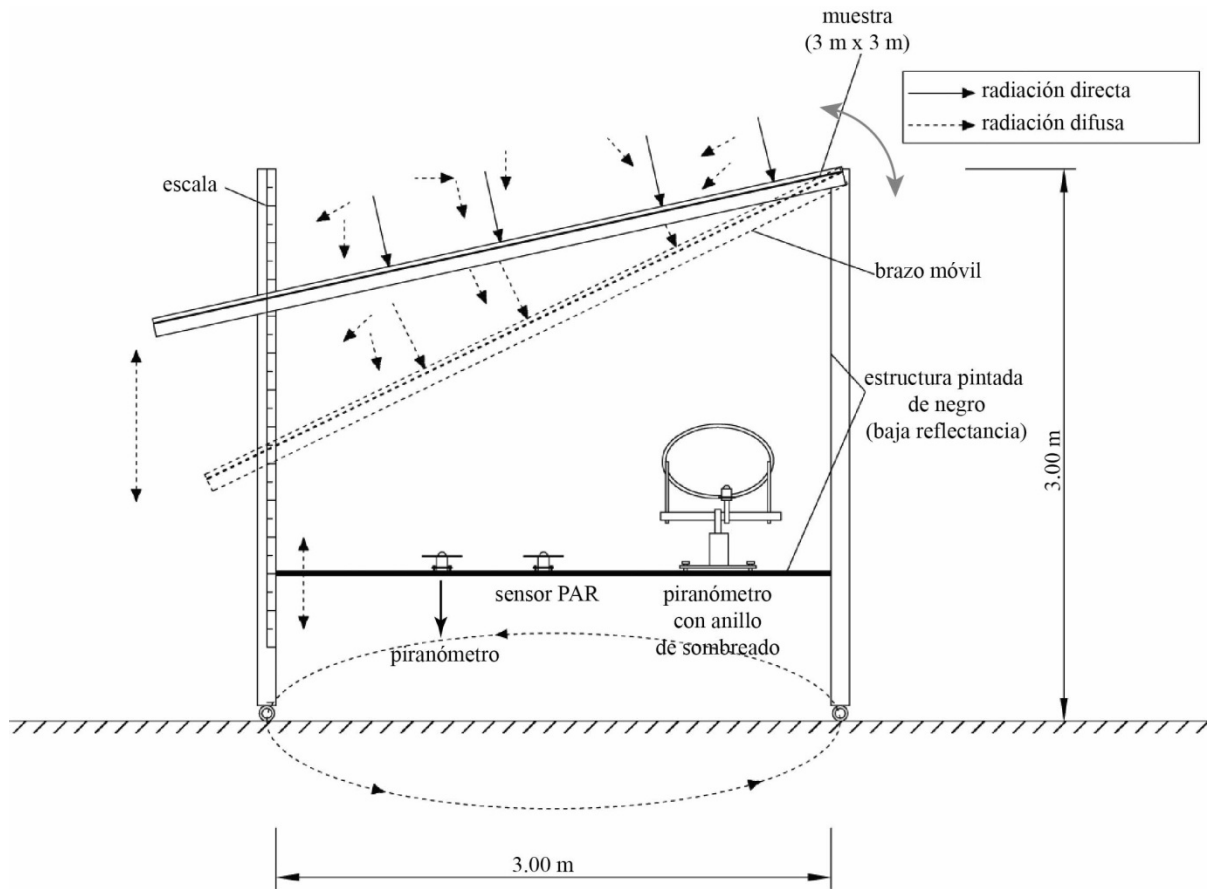
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: intercambiador de calor ubicado en la parte posterior interna de la caja, conectado al circuito de agua fría, fluido intercambiador de calor. La ganancia de calor que ingresa a través del sistema es balanceada con la energía extraída por el intercambiador de calor de la placa de absorción. Una vez que el equipo alcanza el estado estacionario, se miden el flujo de agua y la elevación de la temperatura del fluido a través de la placa de absorción, y a partir de esos datos se calcula la cantidad de energía extraída que es equivalente a la cantidad de energía que entra a través del sistema de sombreado/acristalamiento.

Figura 7. Calorímetro de caja caliente-fría: medición del factor solar (Villalba et al., 2017). Fuente: Elaboración de las autoras.



SISTEMA DE CALENTAMIENTO: resistencia eléctrica regulada por un control de temperatura. A este circuito se vincula un timer que permite determinar el tiempo en el cual la resistencia se encuentra bajo funcionamiento, es decir, aportando calor. De este modo, se puede calcular, una vez que el sistema alcanza el estado estacionario, la cantidad de calor necesaria para que el sistema alcance el equilibrio con las condiciones térmicas exteriores, y obtener el U-valor de la muestra.

Figura 8. Calorímetro de caja caliente-fría: coeficiente U (Villalba et al., 2017). Fuente: Elaboración de las autoras.



Para poder determinar la transmitancia solar, a distintos ángulos de incidencia de la radiación solar directa, los paneles donde se colocan las mallas son móviles. El recinto donde se ubican los sensores y la muestra dispone de ruedas lo que permite orientarlas hacia el sol en todo momento de acuerdo al ángulo de azimut del sol. Las mediciones se realizan en condiciones de cielo claro. La transmitancia de los tejidos se calcula mediante la relación entre los valores registrados por debajo de las mallas y los valores medidos de manera simultánea en el exterior. Asimismo, se realizaron registros un día con cielo cubierto para calcular la transmitancia direccional-hemisférica (τ_d -h).

Figura 9. Metodología de medición de transmitancia solar (300nm - 2800nm) y PAR. Fuente: Romero-Gámez et al. (2012), adaptada por las autoras.

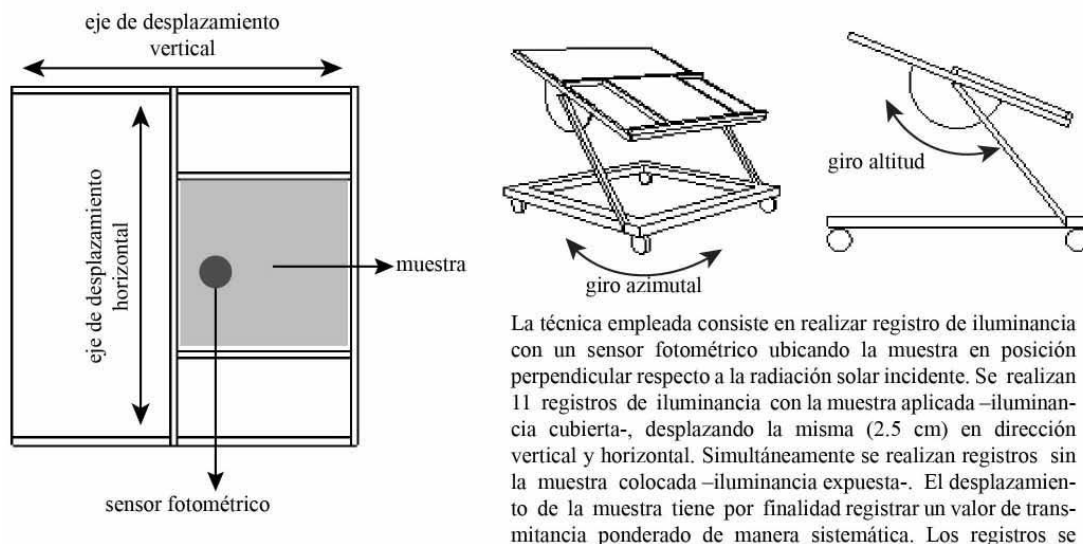
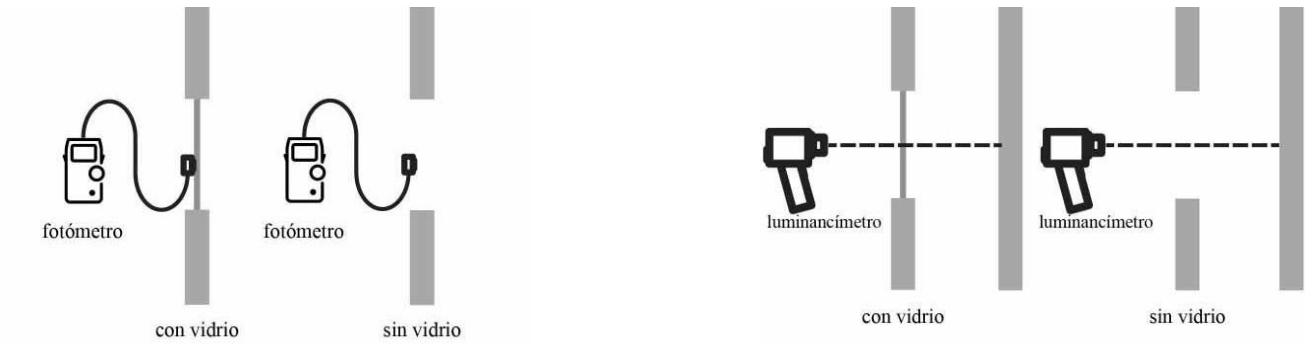


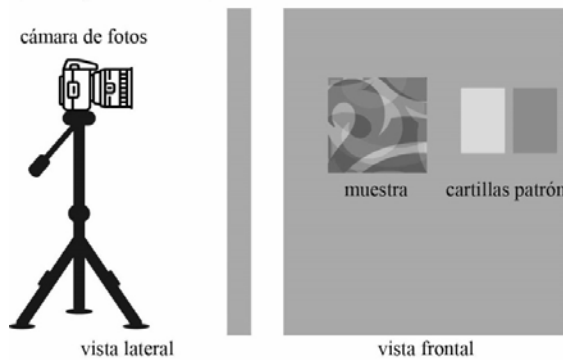
Figura 10. Metodología de medición de transmitancia visible normal (NFRC 202 (NFRC, 2010)). Fuente: Elaboración de las autoras.



La transmitancia hemisférica-hemisférica (t_{hh}) de un vidrio claro o translúcido se obtiene mediante el cálculo de la relación entre la iluminancia detrás del vidrio (I_{in}) y la iluminancia delante del vidrio (I_{out}), medidas bajo condiciones del cielo cubierto con un luxómetro.

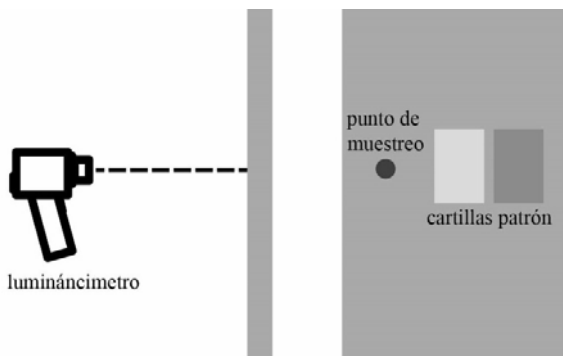
La determinación de la transmitancia normal-normal (t_{nn}) de un vidrio claro, se obtiene mediante la relación entre la luminancia de un objeto ubicado detrás del vidrio (L_{in}), en dirección perpendicular al paño de vidrio, y la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección, sin el vidrio (L_{out}).

Figura 11. Metodología de medición de transmitancia hemisférica-hemisférica para vidrios claros y translúcidos (Fontoynt, 1999). Fuente: Elaboración del autor.
 Figura 12. Metodología de medición de transmitancia normal-normal para vidrios claros (ibidem). Fuente: Elaboración del autor.

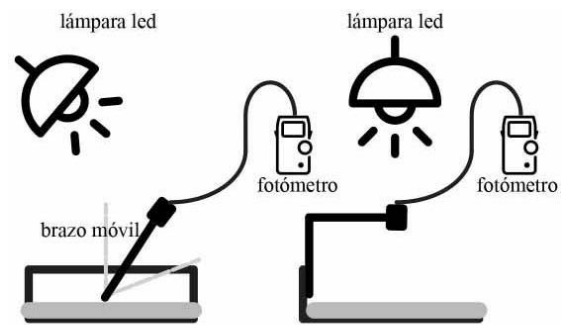


Esta técnica se basa en imágenes de alto rango dinámico (HDR del inglés High Dynamic Range) (Inanici, 2006). Los píxeles de las imágenes de alto rango dinámico contienen datos de luminancia equivalentes a aquellos que se pueden medir punto por punto utilizando un luminancímetro. Se calibra la imagen mediante una medición puntual con luminancímetro en las cartillas patrón. Estos valores de luminancia se utilizan para calcular la reflectancia promedio o punto por punto de una superficie.

Figura 13. Metodología de medición de reflectancia visible (400 nm – 700 nm) difusa media ponderada (Mardaljevic, Brembilla y Drosou, 2015). Fuente: Elaboración de las autoras.



La reflectancia hemisférica-hemisférica de materiales se calcula mediante la relación entre el registro de la luminancia de la superficie, cuya reflectancia se desea calcular, y de las luminancias de una cartilla de referencia blanca y una gris – de reflectancia conocida-, ambas mediciones se realizan *in situ* con luminancímetro. Las condiciones de iluminación para realizar este registro deben ser lo más difusas posibles.



Esta metodología permite determinar el valor de reflectancia de la luz (LRV Light Reflectance Value) (adimensional 0% -100%), que es la proporción de radiación visible reflejada por una superficie en todas las direcciones. Esta metodología es del tipo de no-contacto y se basa en una relación entre la iluminancia reflejada por una cartilla patrón gris (LVR 18%) y la iluminancia reflejada por la muestra bajo análisis. Permite determinar la reflectancia a tres ángulos distintos (30°, 60° y 90°).

Figura 14. Metodología de medición de reflectancia visible hemisférica-hemisférica (Fontoynt, 1999).

Figura 15. Metodología de medición de reflectancia a la luz visible (LVR) a 30, 60 y 90 (Lauria, Secchi y Vessella, 2018). Fuente: Elaboración de las autoras.

En relación a la confiabilidad de los datos obtenidos con las metodologías de mediano y bajo costo, se detecta que no todos los ensayos analizados en este trabajo han sido validados con equipamiento de altas prestaciones tecnológicas. Entre los métodos validados, se encuentra la cuantificación del albedo propuesto por Akbari, Levinson y Stern (2008), donde se registra un error cuadrático medio (RMSE) igual a 0.01 respecto a la metodología propuesta en la norma ASTM E 1918. Asimismo, Mardaljevic, Brembilla y Drosou (2015) cuantifican un porcentaje de divergencia en el cálculo de la reflectancia visible media de una superficie, mediante tecnología HDR con respecto a la medición con equipamiento estándar, de entre un 0.8 y un 6.1%. Flores y Hongn (2014), en tanto, determinan un error absoluto promedio del método de estimación de la emisividad infrarroja de materiales especulares igual a +0.05 respecto con la bibliografía internacional.

CONCLUSIONES

La revisión expuesta permite afirmar que, internacionalmente, la demanda de servicios de certificación energética de componentes y tecnologías de la envolvente urbano-edilicia es una actividad consolidada y en crecimiento. Ello se debe en gran medida a los incentivos y rebajas en los costos de energía que otorgan distintas entidades gubernamentales y de servicios públicos cuando se aplican tecnologías y materiales eficientes en el desarrollo del hábitat construido. También, se verifica que la actividad crece no sólo en respuesta al valor de la tarifa energética, sino a la existencia de códigos de construcción estrictos, como se observa en el caso de Europa Occidental.

Las regiones que presentan la mayor cantidad de empresas destinadas a la caracterización opto-térmica de materiales y componentes son América del Norte y Europa. En la Argentina, el INTI -Buenos Aires- es la institución que más divulga su capacidad de prestar servicios de caracterización de componentes edilicios. Sin embargo, dichos servicios no cubren la totalidad de los requeridos por las normas utilizadas en el país. Por otro lado, existe un conjunto de instituciones de perfil científico-tecnológico (INENCO, ILAV, INAHE, CIOp, LOMA, CNEA, etc.) que vienen desarrollando en distintos puntos de la Argentina, desde hace varias décadas, la caracterización opto-térmica de materiales y componentes de la envolvente edilicia. Estos institutos trabajan arduamente en mejorar su capacidad de prestar servicios tecnológicos de alto nivel para aportar datos de calidad a la industria de la construcción. El trabajo conjunto en red entre instituciones científicas-tecnológicas nacionales resulta una estrategia viable para fortalecer sus capacidades.

Es claro que uno de los aspectos más vulnerables para el alcance efectivo del ahorro energético derivado de la certificación edilicia y urbana radica en la ausencia de bases de datos de origen local para la caracterización óptica y térmica de los materiales y componentes de las envolventes edilicias. Por ello, es de fundamental importancia desarrollar en el país servicios que puedan realizar estas actividades, teniendo en cuenta el contexto productivo, económico y social local y asegurando prestaciones con rigurosidad técnica y a

la vanguardia del conocimiento. Esta posibilidad impulsa la generación de nuevas líneas de trabajo en red que permitan validar la confiabilidad y rigurosidad de las metodologías de bajo y mediano costo, así como también la conformación de bases de datos a nivel local.

Finalmente, el desarrollo del estudio muestra que el *know-how* existe y acceder a él no reviste mayor complejidad, pero que requiere inversión en tecnología e infraestructura de vanguardia. En consecuencia, esta opción no se presenta como una solución posible en el contexto socio-económico nacional, siendo necesario asumir el desafío de generar sistemas de medición de bajo costo adaptados a equipamiento de mediano o pequeño tamaño.

AGRADECIMIENTOS

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina. Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica. PICT-2017-3248; PICT 2017-1088; PICT 2016-1487.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, Hashem; LEVINSON, Ronnen y STERN, Stephanie. Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies, *Solar Energy*, 2008, vol. 82, n° 7, pp. 648-655.

ALCHAPAR, Noelia y CORREA, Érica. Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics, *Construction and Building Materials*, 2015, n° 102, pp. 297-305.

ALCHAPAR, Noelia y CORREA, Érica. Pautas de diseño para disminuir las temperaturas urbanas en regiones con alta productividad solar. Parámetros morfológicos y materiales, *Hábitat Sustentable*, 2016, vol. 6, n° 1, pp. 84-95.

ALCHAPAR, Noelia; CORREA, Érica y CANTÓN, María. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones, *Energy and Buildings*, 2014, n° 69, pp. 22-32.

ASTM. ASTM C1155-95. Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data, 2013.

ASTM. ASTM E1933 – 14. Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers, 2014.

BOLZI, Claudio; TAMASI, Mariana y CADENA, Carlos. *Construcción del primer prototipo de radiómetro fotovoltaico sumergible de bajo costo*. Ponencia presentada en la XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, La Plata, 25 al 28 de octubre de 2016.

BP. *BP Energy Outlook 2030*. London: BP, 2011.

Business Wire. BP. *Statistical Review of World Energy* [en línea]. [Consultado el 16 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

Business Wire. *Commercial building energy efficiency retrofits will surpass \$127 billion in annual market value by 2023, forecasts* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.businesswire.com/news/home/20140403005285/en/Commercial-Building-Energy-Efficiency-Retrofits-Surpass-127>.

DOULOS, Lambros; SANTAMOURIS, Matteo y LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces: The role of materials, *Solar Energy*, 2004, vol. 77, n° 2, pp. 231-249.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA DEL GOBIERNO DEL BRASIL (EPE). Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética del Brasil, 2015.

FLORES LARSEN, Silvana y HONGN, Marcos. Determining the infrared reflectance of specular surfaces by using thermographic analysis, *Renewable Energy*, 2014, n° 64, pp. 306-313.

FONTOYNONT, Marc. *Daylight performance of buildings*. 1^{ra} ed. London: James and James, 1999.

GARCÍA, Víctor; IRIARTE, Adolfo; PATTINI, Andrea; FERRÓN, Leandro; VILLALBA, Ayelén; FLORES LARSEN, Silvana y LESINO, Graciela. *Evaluación de la iluminación natural, temperatura y humedad en una sala de preparación para producción agámica de plantas*. Ponencia presentada en la IV Conferencia Latinoamericana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES) Cusco, Perú, 1 al 5 de noviembre de 2010.

International Energy Agency. *25 energy efficiency policy recommendations*. París: IEA, 2011.

International Energy Agency. *Technology Roadmap Energy Efficient Building Envelopes*. París: IEA, 2013.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2007.

IRAM. *IRAM 11605: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*, 1996.

IRAM. *Norma IRAM 11507-6 "Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Parte 6 - Etiquetado de eficiencia energética"*, 2018
 IRAM. *Norma IRAM 11900 "Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo"*, 2017.

ISO. *ISO 9869-1: Thermal insulation -- Building elements -- In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance -- Part 1: Heat flow meter method*, 2014.

LAURIA, Antonio; SECCHI, Simone y VESSELLA, Luigi. Visual wayfinding for partially sighted pedestrians – The use of luminance contrast in outdoor pavings, *Lighting Res. Technol*, 2018, n° 0, pp. 1–19.

MARDALJEVIC, John; BREMBILLA, Eleonora y DROSOU, Nafsika. *Illuminance-proxy high dynamic range imaging: a simple method to measure surface reflectance*. Ponencia presentada en el 28th Session of the International Commission on Illumination (CIE 2015), Manchester, 28 de junio a 4 julio, 2015.

MERCADO, Victoria; ESTEVES, Alfredo; FILIPPÍN, Celina y FLORES LARSEN, Silvana. Passive solar radiant system, SIRASOL. Physical-mathematical modeling and sensitivity analysis, *Solar Energy*, 2013, n° 96, pp. 10-20.

MIEM. *Eficiencia energética* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/inicio>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA, MINEM, Argentina. *Programa de Etiquetado de Eficiencia Energética. Energética* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.minem.gob.ar/www/835/26781/programa-de-etiquetado>

MINISTERIO DE HACIENDA ARGENTINA. *Calificación y Etiquetado de Carpintería de Obra (Ventanas exteriores)* [en línea]. [Consultado el 16 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ee/eysp/etiquetado-de-ventanas>
 MINVU. *Calificación Energética* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.calificacionenergetica.cl/>

MUSCIO, Alberto y AKBARI, Hashem. An index for the overall performance of opaque building elements subjected to solar radiation, *Energy and Buildings*, 2017, n° 157, pp. 184-194.

NAVIGANT RESEARCH. *Executive Summary: Energy Efficient Buildings: Europe*. Navigant Research, 2014.

NAVIGANT RESEARCH. *Energy Efficiency Retrofits for Commercial and Public Buildings* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.navigantresearch.com/reports/energy-efficiency-retrofits-for-commercial-and-public-buildings>.

NFRC. NFRC 202-2010. *Procedure for Determining Translucent Fenestration Product Visible Transmittance at Normal Incidence*. National Fenestration Rating Council Incorporated, 2010.

PATTINI, Andrea; CORREA, Érica; VILLALBA, Ayelén; FERNÁNDEZ LLANO, Jorge y DE GASTINES, Maureen. *Certificación de eficiencia energética de ventanas. Implicancias de distintos caminos para su determinación*. Ponencia presentada en la XXXVIII Reunión de trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, San Rafael, Mendoza, 11 al 13 de noviembre de 2015.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José y POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 2008, vol. 40, n° 3, pp. 394-398.

ROMERO-GÁMEZ, Mercedes; SUÁREZ-REY E. M.; CASTILLA N. y SORIANO, Teresa. Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2012, n° 2, pp. 306-313.

SILVERO, Fabiana; RODRIGUES, Fernanda; MONTELPARE, Sergio; SPACONE, Enrico y VARUM, Humberto. The path

towards buildings energy efficiency in South American countries, *Sustainable Cities and Society*, 2019, n° 44, pp. 646–665.

Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/energia/ahorro-y-eficiencia-energetica>
US DOE. *Quadrennial technology review. An assessment of energy technologies and research opportunities. Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies*. EEUU: US DOE, 2015.

USGBC. *Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)* [en línea]. [Consultado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://new.usgbc.org/leed>

VILLALBA, Ayelén; CORREA, Érica; PATTINI, Andrea y VICARE, Daniel. Hot-cool box calorimetric determination of the solar heat gain coefficient and the U-value of internal shading devices, *Energy Efficiency*, 2017, n° 10, pp. 1553–1571.

WORLD ENERGY COUNCIL. *World Energy Resources 2013 Survey*. London: World Energy Council, 2013.

ZHOU, Catherine. *Navigating China's Market for High Performance Building Materials*. Webinar, U.S. Energy Department, 2014.