

[VOLVER AL ÍNDICE](#)

# EVALUACIÓN TÉRMICO-ENERGÉTICA DE UN PROTOTIPO DE VIVIENDA SUSTENTABLE CON MATERIALES RECICLADOS

*Halimi Sulaiman (halimi.sulaiman@gmail.com); María Paz Sánchez Amono (arq.mpsa@gmail.com); Rosana Gaggino (rgaggino@ceve.org.ar); Lautaro Oga Martínez (lautaro.ogamartinez@gmail.com)*

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) - Arg.

**Palabras clave:** simulación térmico energética, diseño bioclimático, envolventes, residuos reciclados

*La arquitectura satisface la necesidad humana de tener un lugar apropiado de morada, pero ocasiona un fuerte impacto ambiental. Las tecnologías empleadas en la construcción generan contaminación y agotamiento de los recursos naturales. Por este motivo, se propone como alternativa desarrollar sistemas constructivos amigables con medio ambiente, en los cuales se utilizan como materia prima residuos reciclados en conjunción con el diseño bioclimático arquitectónico de vivienda social.*

*En este artículo se presenta el diseño y simulación térmico energética mediante software ECOTECT de un prototipo de vivienda social sustentable llamado FADIPEV de 65 m<sup>2</sup> con el Año Típico Meteorológico de la ciudad de Córdoba, Argentina (31°25'00"S 64°11'00"O SNM474m).*

*Se analizó FADIPEV utilizando cerramientos con placa BENO PET y sistema constructivo tradicional de madera con tejas en la cubierta de techo. Ambas tecnologías son desarrollos en el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica) y están elaboradas con materiales reciclados. Estos sistemas son sustentables, de rápida construcción y bajo costo. La localización de la evaluación pertenece a la Zona Bioclimática IIIa. Además de satisfacer las recomendaciones de las Normas IRAM 11605 para nuevos sistemas constructivos, tanto la cubierta de tejas, como la placa BENO PET cumplen con los requerimientos exigidos en Nivel B (La transmitancia térmica K del cerramiento con placas de BENO PET es de 0,66 W/m<sup>2</sup>.K y el de la cubierta con tejas es de 0,47 W/m<sup>2</sup>.K).*

*Se evalúan y comparan los principales resultados de simulación con la misma vivienda bioclimática construida con sistema tradicional para determinar el porcentaje de ahorro energético anual.*

*Los resultados alcanzados permiten afirmar que el conjunto de diseño bioclimático y estas envolventes sustentables, logran un ahorro energético entre un 35 y 44 %, dentro del rango de confort adaptativo y encendido de los equipos de climatización de 18°C a 26°C.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los costos energéticos sumados a la alta inflación en Argentina requieren de respuestas inmediatas en tecnologías constructivas eficientes energéticamente con sobrecosto por ganancia solar y conservación amortizable en un periodo aceptable (Sulaiman et al., 2017).

A nivel mundial, los edificios representan aproximadamente el 40% de consumo energético y un tercio de emisiones globales de gas de efecto invernadero (GEI) (Nejat et al. 2015). Una importante proporción de la utilización de la energía se debe a calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en respuesta a la creciente demanda de un mejor confort térmico dentro del entorno construido (Lam et al. 2014).

Según el último censo nacional de población (INDEC, 2010), el 83,1% de la población del país vive en viviendas unifamiliares aisladas y esta tipología representa el 73,4% del total. Por ello, es fundamental dar respuestas de fácil instrumentación orientada a la aplicación masiva de las propuestas en viviendas unifamiliares.

El diseño de edificios bioclimáticos y el desarrollo de tecnologías de envolvente de edificios de bajo consumo energético han estado recibiendo gran atención en los últimos años por parte de las productoras de materiales de construcción, investigadores, arquitectos, ingenieros en climatización y organismos de normalización. El diseño bioclimático ha sido ampliamente identificado como una de las estrategias más eficaces para disminuir la demanda de energía en la construcción (Tejavathu et al., 2010; Lam et al., 2006; Badescu, 2011; Sadineni et al. 2011). Estos son capaces de utilizar menos energía convencional mediante el equilibrio entre las pérdidas y las ganancias de calor con respeto a las condiciones climáticas particulares de la ubicación de los edificios. Una aplicación adecuada del diseño bioclimático implica varios aspectos del diseño del edificio. Omrany y Marsono (2016) determinan y analizan el impacto en el ahorro energético de 8 variables del diseño bioclimático: aislamiento, masa térmica, vidriado, ventana, tamaño, forma y posición, color del exterior, superficies, dispositivos de protección exterior, orientación y forma de construcción. Los autores demuestran que, el uso de estrategias bioclimáticas en el sector de la construcción mejora la sostenibilidad principalmente mediante la mitigación de los impactos ambientales negativos de los edificios optimizando su rendimiento energético.

A su vez existen numerosos sistemas constructivos nuevos y materiales más sofisticados que dan soluciones específicas a problemas como resistencia mecánica, impermeabilidad, aislación térmica, fácil colocación, mono componentes con varias funciones simultáneas, etc. El diseño de nuevos materiales es un campo de alto crecimiento donde incluso la creatividad intenta reciclar, re usar y reutilizar materiales de desecho. Teniendo los objetivos definidos (energía, bajo impacto ambiental, costos competitivos) es posible desarrollar propuestas de sistemas constructivos sumados al diseño bioclimático que alcancen el 50% de ahorro energético con costos accesibles (Sulaiman et al., 2017).

El mundo produce alrededor de 1500 millones de toneladas anuales de residuos. En la mayoría de las grandes ciudades de Argentina se produce 1 kg. de basura por persona por día, siendo la producción total anual de residuos sólidos urbanos de nuestro país 14.094.110 ton (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina, 2017). Del total de los RSU un 13,3 % (en peso) corresponde a los plásticos (CEAMSE, 2017), lo cual equivale a 1.874.516 ton anuales. Dentro de los plásticos, el polietileno tereftalato -PET- que constituye la materia prima de las botellas descartables de bebidas, representa el 4,7 %, lo cual equivale a 88.102 ton anuales. Por otra parte, el polietileno de baja densidad -LDPE- que constituye la materia prima de bolsas, caños, bidones y silobolsas, representa el 42,6 % del total de los plásticos, lo cual equivale a 787.296 ton anuales. En nuestro país el porcentaje de reciclado es muy bajo, no supera el 10 %, a diferencia de otros países de Europa como España, Suiza y Francia, y otros de Latinoamérica como Brasil y México, los cuales están más adelantados en cuanto a la conciencia ecológica.

En Argentina, toneladas anuales de neumáticos fuera de uso son desechados en vertederos no controlados o se los elimina mediante quema directa, lo que produce emisiones de gases nocivos para el entorno. Según lo informado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), "Se estima que en nuestro país la generación de neumáticos fuera de uso supera las 100.000 toneladas anuales" (INTI, 2010). El problema que generan los neumáticos en los basurales es el gran volumen que ocupan y el largo tiempo de degradación (600 años aproximadamente), creando un hábitat propicio para la proliferación de mosquitos transmisores del dengue y roedores.

Por todo esto es que se sostiene que, para aumentar aún más la aplicación de dichas estrategias en la industria de la construcción, es necesario un cambio en la mentalidad arquitectónica. Se deberían integrar meticulosamente al diseño y construcción, especialistas en cuestiones de energía e impacto ambiental. Además, el concepto de edificio bioclimático requiere ser apoyado por las regulaciones de construcción a través de diferentes programas de incentivos, regímenes obligatorios y alentar a los profesionales a utilizarlo.

La propuesta pretende acercarse lo más posible a un sistema constructivo sustentable, de rápida construcción, con costos bajos y amigable con el medio ambiente, mejorando la calidad higrotérmica interior de las viviendas sociales y un diseño arquitectónico flexible que pueda responder a los requerimientos de sus usuarios. La metodología consistió en adaptar el prototipo de vivienda social tradicional previamente diseñado y evaluado en otros contextos (Sulaiman y Lara, 2018) a dos sistemas constructivos del CEVE.

Los principales resultados son: la evaluación de las características del diseño bioclimático del prototipo de vivienda FADIPEV en cuanto a compacidad, aberturas, orientación, asoleamiento y ventilación natural; a través de simulación horaria anual con Año típico meteorológico en clima templado cálido con gran amplitud térmica en un contexto de altas posibilidades de aplicación masiva propuesta con tecnologías de construcción productos de residuos reciclados. Resumiendo, la alta eficiencia económico energética y ambiental de la propuesta tecnológico-arquitectónica en zona bioclimática altamente poblada.

## 2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar la performance térmico - energética de un prototipo bioclimático de vivienda social (FADIPEV) modelado en el software ECOTECT con tecnologías constructivas de materiales reciclados desarrolladas en el CEVE en el contexto climático y de costos energéticos de Córdoba Argentina. Para la determinación del ahorro energético se compara la propuesta con una tecnología tradicional evaluando la distribución de las condiciones térmicas interiores, los consumos energéticos de climatización y sus costos anuales asociados de aire acondicionado y calefacción.

## 3. METODOLOGIA

La metodología comprende las siguientes etapas:

1. Basados en desarrollos previos se adapta el diseño de vivienda social tradicional realizado para el Instituto Provincial de la Vivienda de San Juan FADIPEV a las necesidades climáticas de la Ciudad de Córdoba con estrategias de protección y ganancia solar.
2. Se calculan las características térmicas de transmitancia, admitancia, amortiguamiento, retardo etc. de los sistemas BENOPEY y cubierta tejas de material reciclado para modelar los materiales para simulación dinámica con el software ARUP (2017).
3. Se utiliza el Año Típico Meteorológico basado en mediciones del Aeropuerto Taravella, Ciudad de Córdoba (Crawley, 2017).
4. Se modelan en el software de simulación dinámica ECOTECT (2011) la vivienda con las tecnologías propuestas (Caso CEVE) y un caso BASE con materialidad tradicional de vivienda social en Córdoba.
5. Se validan las propuestas en cuanto a las condiciones térmicas interiores analizando la distribución anual horaria de las temperaturas en todas las zonas isohigrotérmicas del modelo simulado.
6. Se comparan los consumos energéticos de ambos casos, tanto en refrigeración como calefacción.

7. Se compara el valor económico estimado consumido anualmente de electricidad (refrigeración) y de gas natural (calefacción) por climatización y se determina el porcentaje de ahorro energético potencial. Los valores unitarios de energía corresponden al mes de setiembre de 2018 de la Ciudad de Córdoba.

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR Y PROYECTO TÉCNICO ARQUITECTÓNICO SUSTENTABLE

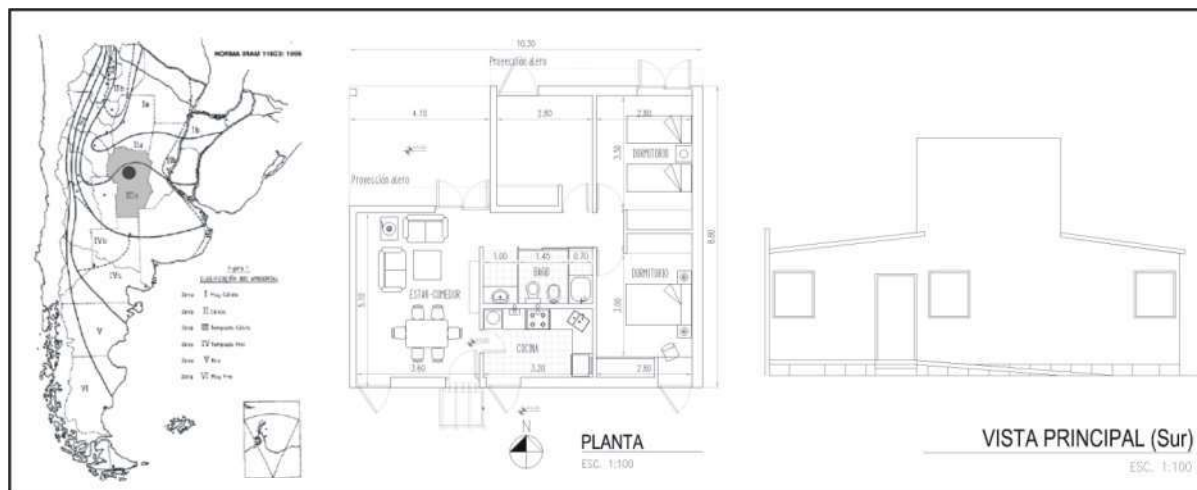


Figura 1. Mapas de zonas Bioclimáticas según la IRAM 11603. Planta vista FADIPEV.

La ciudad de Córdoba se encuentra en el centro del país en la zona bioclimática IIIa según la Norma IRAM 11603. Se caracteriza por tener un clima templado cálido con grandes amplitudes térmicas. Se utilizó el año típico meteorológico la simulación horaria anual como recomienda la bibliografía (Crawley, 2017)

Para llevar adelante el trabajo se tomó como caso de estudio el prototipo de vivienda FADIPEV diseñado con las siguientes pautas bioclimáticas: compacidad, porcentaje de aberturas, orientación, asoleamiento invernal, protección mediante aleros y pérgolas y ventilación natural, apareada, capacidad de ampliación en planta baja y alta y futura división en unidades rentables independientes (Sulaiman y Lara. 2018). Se adaptó el prototipo de vivienda social tradicional hecho para el IPV de San Juan (FADIPEV) a dos sistemas constructivos desarrollados en el CEVE, los cuales poseen patente y Certificado de Aptitud Técnica (Berretta et al, 2007; Berretta et al, 2008; Gaggino et al, 2010).

En base a las nuevas exigencias obligatorias para la Certificación de Aptitud Técnica para sistemas no convencionales y teniendo en cuenta los desarrollos anteriores de BENO y ladrillo PET se diseñó en base a cálculos de transmitancia térmica (K) y verificación a la condensación el muro de BENO PET modificando sus capas para lograr resultados satisfactorios en cuanto al K.

La cubierta de techos de esta vivienda está ejecutada con tejas elaboradas con materiales reciclados procedentes de desechos industriales plásticos y de neumáticos fuera de uso (polietileno y caucho reciclados). Su desarrollo fue realizado en el instituto de investigación CEVE. El procedimiento de elaboración de estas tejas consiste en el triturado de los materiales, la extrusión de los mismos, y el moldeado en una prensa. Las tejas se ubican sobre una estructura de madera de tipo tradicional. Estas tejas son más resistentes a la flexión, a la heladicidad y al granizo que las tejas tradicionales como la cerámica o la de hormigón y además son más livianas. Ver figura 2. (Gaggino et al, 2016). Está en gestión la Patente de invención nacional de este componente, (Gaggino et al, 2015). Ya obtuvo el Certificado de Aptitud Técnica (Gaggino et al, 2018).

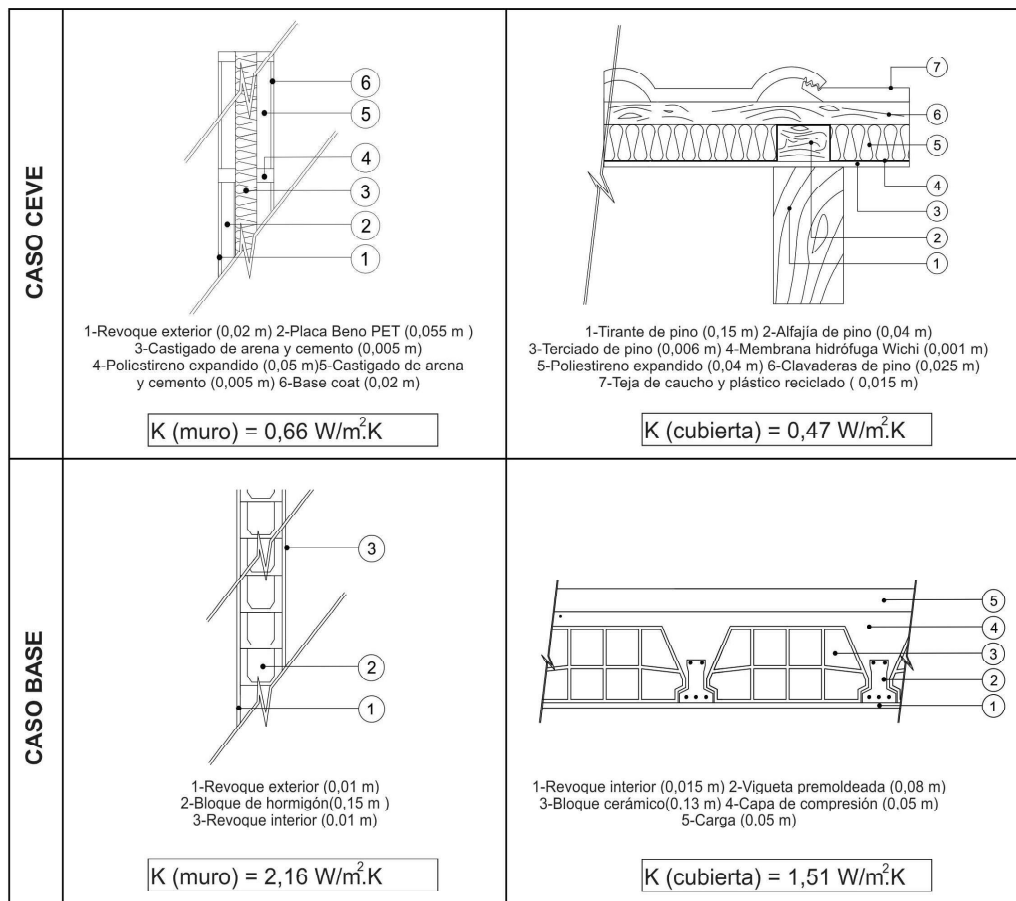


Figura 2. Detalles constructivos y transmitancia térmica en  $\text{W/m}^2\text{K}$  de caso BASE y CEVE.



Figura 3. Fotos de los sistemas constructivos del CEVE evaluados.

Los muros de este prototipo están contruidos con placas fabricadas con ladrillos de plástico PET, cuyo desarrollo también fue realizado en el instituto de investigación CEVE. Los ladrillos con plástico PET reciclado son un componente para muros exteriores e interiores elaborados con una mezcla de partículas de plástico PET procedente de envases descartables de bebidas, ligadas con cemento Portland y aditivos, que se moldea con una máquina manual rodante. Es un ladrillo más ecológico que otros tradicionales existentes en el mercado porque su materia prima principal está constituida por residuos plásticos reciclados. Además, la producción del ladrillo macizo de tierra cocida, utilizado habitualmente en mamposterías, a partir de la extracción de la capa de tierra superficial fértil (humus), y su posterior cocción en grandes hornos a cielo abierto, produce desertificación del suelo, contaminación atmosférica (por el humo generado), y tala de árboles para obtener

la leña necesaria para el funcionamiento del horno. Desde el punto de vista técnico el ladrillo de PET se destaca también en lo que respecta a liviandad y aislamiento térmico.

## 5. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados más relevantes de la simulación para determinar la performance térmico -energética de la vivienda social bioclimática FADIPEV. Los resultados se presentan en los dos casos llamados: Caso BASE, con tecnología convencional y caso CEVE, con techo de tejas de material reciclado y mampostería de BENO PET. Dado que la estrategia metodológica es comparativa, cada figura incluye los resultados de ambos casos.

Si bien los resultados de la simulación son muy completos y detallados, los siguientes son aquellos que, a criterio de los autores, de modo más sintético muestran las diferencias más relevantes entre ambas tecnologías. Se destaca que el diseño bioclimático de la vivienda FADIPEV, en cuanto a estrategias pasivas de diseño sumado a un usuario consiente ya disminuyen considerablemente el consumo energético del caso tradicional respecto a una vivienda real tradicional. Aspectos como proporción de ventanas, ventilación selectiva nocturna y asoleamiento invernal, protección solar estival, orientación, adyacencias de zonas internas, proporciones y volúmenes de aire interior, etc., no suelen ser condicionantes del diseño y ubicación de las viviendas sociales masivas de modo general.

La figura 4 muestra las volumetrías de la vivienda en los dos casos tanto para verano como invierno donde se observa el correcto asoleamiento/protección solar de la vivienda y el cambio de color de la teja de caucho respecto a la cubierta del caso BASE.

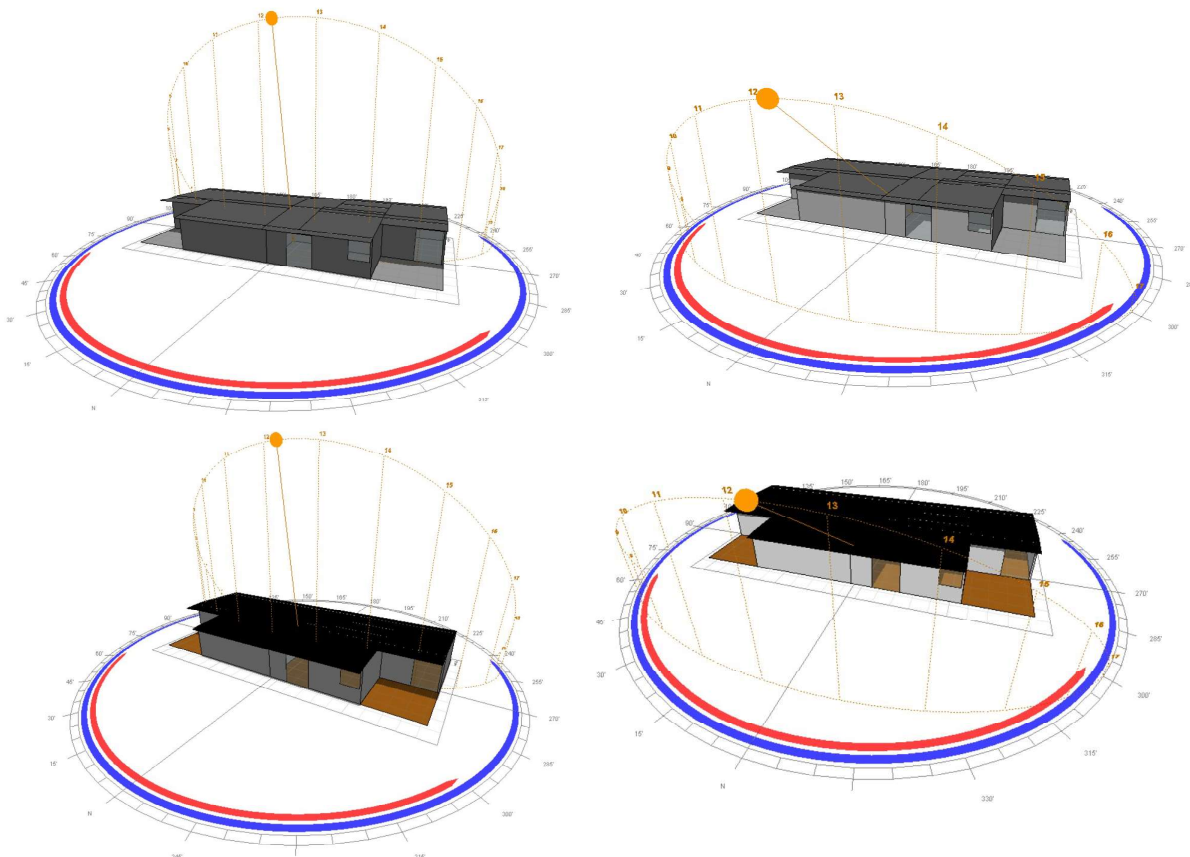


Figura 4. Volumetrías del caso BASE (superior) y CEVE (inferior) el 1ro de enero y 1 ro de julio a las 12:15 hs respectivamente.

La figura 5 presenta la Distribución de temperaturas interiores en todas las zonas isohigrotérmicas interiores de la vivienda como, por ejemplo, estar comedor, dormitorio sur, dormitorios norte, etc. El eje Y de la figura muestra la cantidad de horas del año que las condiciones de temperatura se encuentran en un determinado valor. El sector coloreado en blanco es la zona de confort y en degrade el rango adaptativo hasta paulatinamente entrar en disconfort por frío (azul) o calor (rojo). El eje X presenta las temperaturas operativas interiores considerando la actividad de las personas de acuerdo a la zona (perfil de uso, metabolismo, cantidad de personas, vestimenta, etc.) así como las cargas internas por cocción y equipamiento.

La figura 6 muestra los consumos mensuales de energía auxiliar en los casos BASE (superior) y CEVE (inferior), de refrigeración en negativo (azul) y calefacción en positivo (rojo) totales de cada caso. Los colores interiores de la barra corresponden a las diferentes zonas interiores de la vivienda, donde se destacan los consumos del estar comedor en refrigeración. Cabe aclarar que la zona dormitorios 2 son dos dormitorios considerados una sola zona por ser isohigrotérmica y por tanto el consumo por dormitorio es similar al dormitorio 1 color marrón oscuro. Por último, en la Tabla 1 se presentan los valores numéricos por zona y total de consumos de Heating (H) y Cooling (AC). El costo unitario de energía corresponde a setiembre de 2018 en la Ciudad de Córdoba. El análisis gráfico y de tablas de consumos son una herramienta de diseño técnico arquitectónico muy valiosa, al igual que la distribución de temperaturas. A continuación, se analizan los resultados y se proponen mejoras de diseño para futuras evaluaciones.

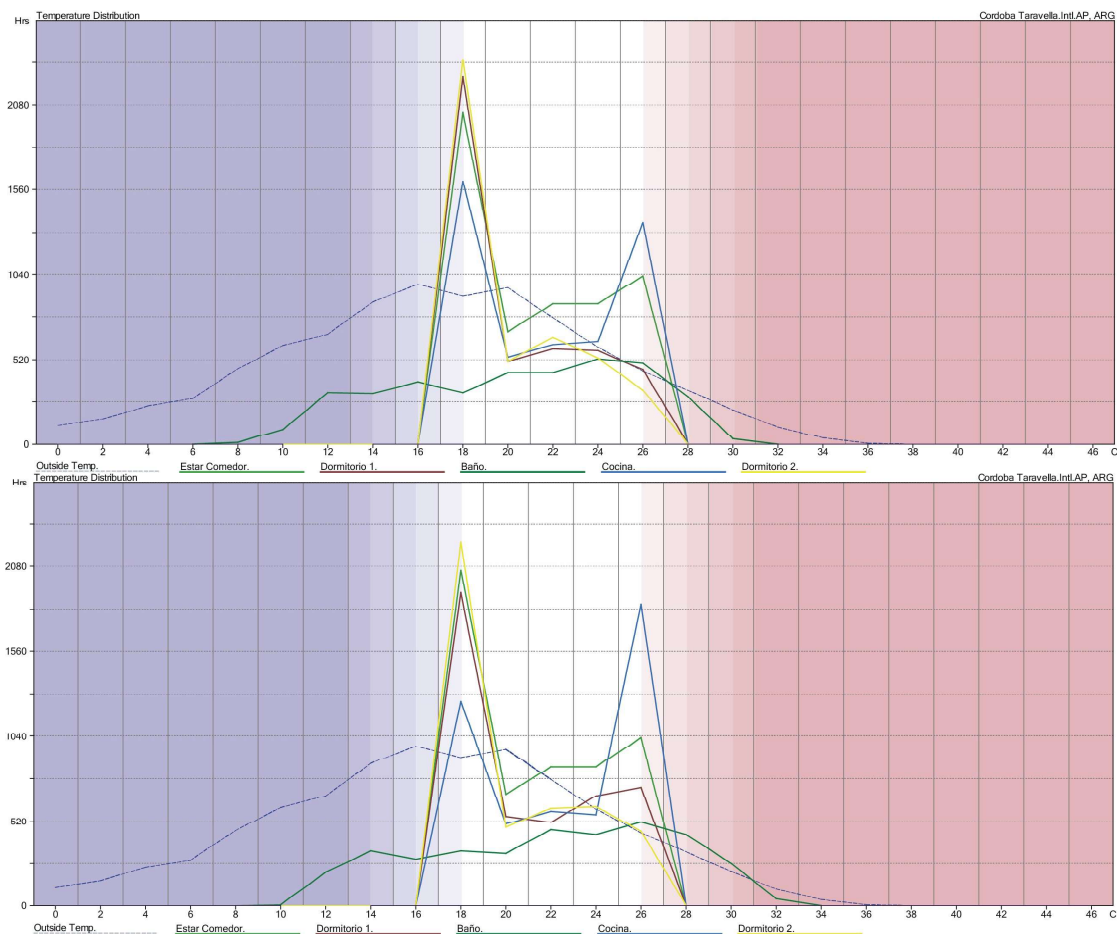


Figura 5. Distribución de temperaturas interiores. BASE (superior) y CEVE (inferior).

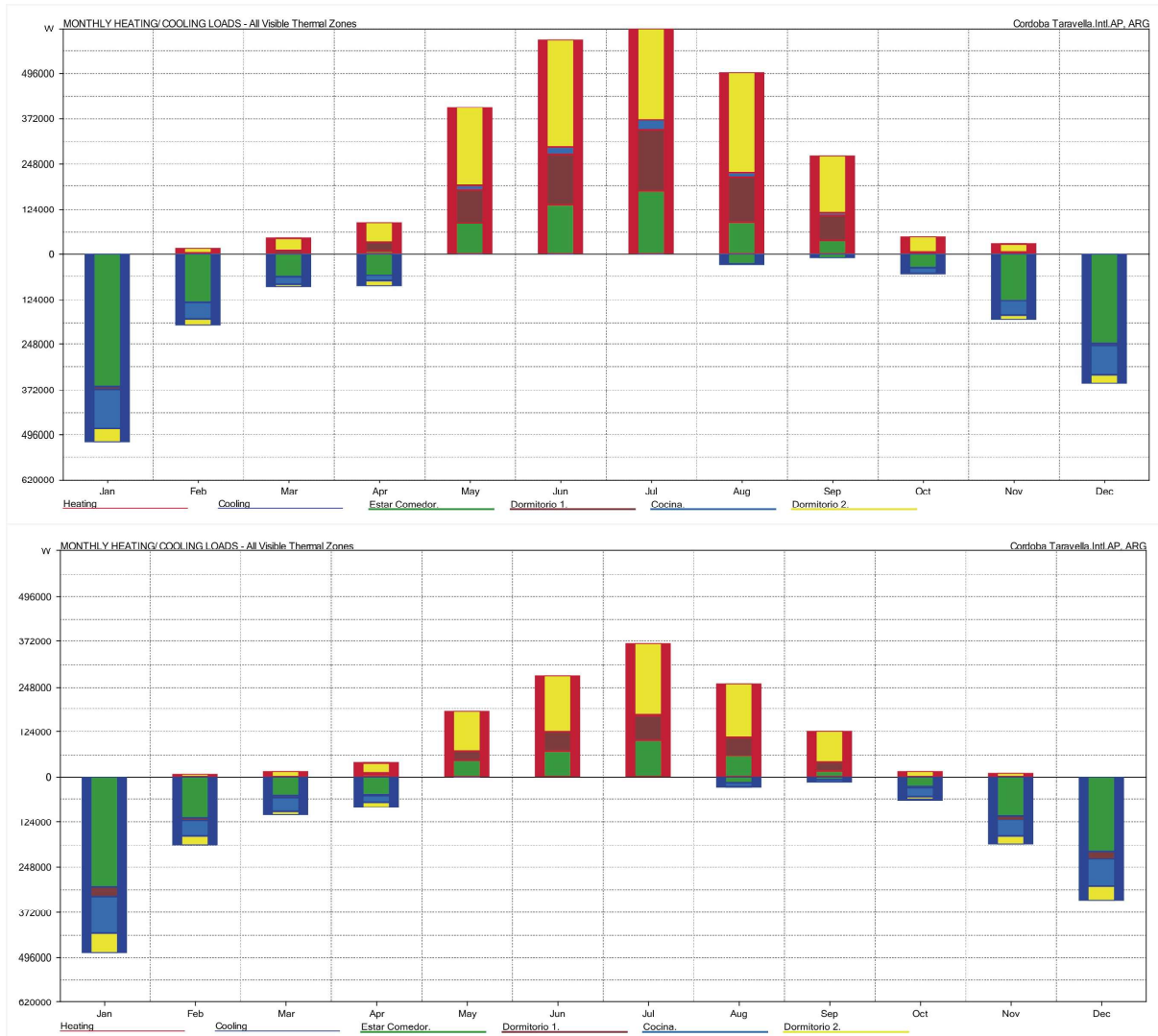


Fig. 6. Consumo energético en W: BASE (superior) y CEVE (inferior). AC (azul) y H (rojo).

Tabla 1. Cálculo de costos de energía de climatización de ambos casos costos de setiembre 2018.

Zona	Heating Wh	Cooling Wh	Consumo electrico Kwh	Consumo gas m³	\$ Gas	\$ Elect
Est./ Com	529565	1068708	1069	50	\$ 254	\$ 3.059
Dorm. 1	637396	13942	14	60	\$ 305	\$ 40
Baño	0	0	0	0	\$ -	\$ -
Cocina	73266	327221	327	7	\$ 35	\$ 936
Dorm. 2	1476742	119275	119	140	\$ 708	\$ 341
<b>Subtotal</b>	<b>2716969</b>	<b>1529146</b>			<b>\$ 1.302</b>	<b>\$ 4.376</b>
<b>Total Consumo Anual</b>					<b>\$</b>	<b>9.845</b>

Zona	Heating Wh	Cooling Wh	Consumo electrico Kwh	Consumo gas m³	\$ Gas	\$ Elect
Est./ Com	294060	887112	887	28	\$ 141	\$ 2.539
Dorm. 1	230629	71218	71	22	\$ 111	\$ 204
Baño	0	0	0	0	\$ -	\$ -
Cocina	3854	360987	361	0	\$ 2	\$ 1.033
Dorm. 2	762640	177066	177	72	\$ 365	\$ 507
<b>Subtotal</b>	<b>1291183</b>	<b>1496383</b>			<b>\$ 619</b>	<b>\$ 4.283</b>
<b>Total Consumo Anual</b>					<b>\$</b>	<b>8.826</b>



## 6. DISCUSION

### 6.1. Temperaturas interiores en los casos BASE y CEVE

Como se observa en la figura 4 la vivienda ha sido diseñada para obtener ganancia solar directa en invierno y evitar el acceso de sol al interior en verano. De este modo se propicia la ganancia solar directa invernal en el sector de 2 dormitorios y estar. Por otro lado, se planteó la vivienda apareada, estrategia bioclimática que permite disminuir el porcentaje de envolvente al exterior y, por tanto, evita pérdidas energéticas sumado a un mejor comportamiento y disminución de la oscilación de temperaturas en las condiciones de confort interior de la vivienda.

Como se observa en la figura 5, en general las condiciones de confort interiores son aceptables en ambos casos con algunas variaciones mínimas en cuanto al comportamiento de la normal de distribución. Se observan dos picos de una importante frecuencia de ocurrencia en invierno y verano, este último más leve y sólo en determinadas zonas. Esto evidencia una rigurosidad climática mayor en invierno y por tanto un consumo energético en esta época del año ya que coincide con el encendido de los equipos. Los 18°C son la temperatura de mayor frecuencia en todos los locales entre un 20% y 25% del tiempo. De todos modos, podría evaluarse el seteo (configuración del termostato de encendido) de los equipos para que se enciendan antes de llegar a los 18 °C y así evitar horas en disconfort en el triángulo formado por el pico de 18°C, 16°C y el eje x (8% al 10% del tiempo). Un detalle no menor sería tener en cuenta la capacidad instalada de equipos ya que la reacción, o bien el tiempo que se requiere para volver a la condición deseada (18°C) presenta una disminución de 2 °C. Sin embargo, el criterio del seteo evaluado responde a dos aspectos. Por un lado, la situación más parecida a la realidad en vivienda social que es evitar la climatización cuando el espacio no se está utilizando, y por otro la reacción natural de cuando se llega a disconfort la persona manualmente realiza el ajuste de la potencia del equipo, presentando un periodo de disconfort hasta regularizar la temperatura. Un aspecto relevante que no se ha modelado por requerir mayor tiempo de modelado es el aumento de calorías en el tipo y frecuencia de cocción invernal que no se evidencia en el periodo estival. Este detalle podría aportar ganancias invernales que disminuyan el consumo.

La distribución es mayormente dispersa en el 75% del tiempo restante, evidenciando un pico con exceso de energía en la cocina. De todos modos, la cocina no es un sector principal de estancia como los anteriormente nombrados y las temperaturas no superan los 28 °C en dichos momentos críticos (prácticamente 0 hs). Los espacios principales de estar y dormitorios las temperaturas se encuentran entre los 20 y 24°C un 9% del tiempo y entre 19°C y 26°C un 65% del tiempo. Se deduce de esta figura que el 82% del tiempo las condiciones de confort se encuentran en la franja establecida entre 18°C y 27°C en ambos casos y en todas las zonas de la vivienda.

### 6.2. Consumos energéticos de climatización

En resultados se explicó cómo se interpreta la figura 6. Comparativamente se observa una disminución relevante de los consumos energéticos especialmente en los picos de consumo en enero por refrigeración (AC) y en julio (H). Adicionalmente en todos los meses se observa un mejor comportamiento en este aspecto del caso CEVE respecto del BASE. Podemos afirmar que el caso CEVE presenta un mejor desempeño energético sin contar los beneficios ambientales y de costos de construcción implicados. No obstante, se detectan aspectos factibles de mejorar en el caso propuesto, tanto en el diseño arquitectónico como de los sistemas constructivos evaluados.

Por un lado, el consumo energético de verano se podría mejorar acondicionando el color exterior de la teja de material reciclado, disminuyendo considerablemente el consumo en verano al disminuir el factor del albedo. A su vez, se detecta la necesidad de simular cada dormitorio por separado para evitar confusión en las lecturas de consumos producidos por dos dormitorios juntos en comparación del dormitorio sur con la mitad de superficie útil y por tanto de volumen a acondicionar. Es probable que el dormitorio norte cercano al estar tenga peor comportamiento por presentar mayor envolvente expuesta en comparación a los demás dormitorios. Por su parte el estar podría proteger su pared lateral expuesta (en este caso oeste) con alguna cubierta verde vertical o pérgola de hoja caduca o media sombra generalmente utilizada para cobijo del vehículo familiar, dependiendo del ancho del terreno.

Se evidencia un muy buen comportamiento del estar en invierno presentando consumos bajos. A continuación, se evalúan los valores numéricos de consumos y los posibles costos para ambos casos en Córdoba.

### 6.3. Costos energéticos por climatización

La Tabla 1 donde se muestran los datos numéricos de consumo y los costos de climatización calculados con valores de Córdoba de setiembre 2018, se evidencia un importante consumo en el caso BASE: 4247 kWh/año. Un consumo superior a 70 kWh/m<sup>2</sup>/año (considerando 60m<sup>2</sup> útiles) en una vivienda diseñada para disminuir el consumo. En costos monetarios implica \$ 9800 anuales sólo de climatización (aproximadamente de US\$ 265). Es sabido por la situación económica argentina que una familia que reside en una vivienda social no cuenta con los medios para destinar en climatización ese monto. Por tanto, se podría decir que se encontraría en la situación de pobreza energética, concepto que evidencia, el tener acceso a la energía, pero no poder solventar los costos asociados a ella y por tanto a mantener el confort interior.

Por su parte el caso CEVE presenta un consumo de energía por climatización de 2787 kWh/año y es decir 46,4 kWh/m<sup>2</sup>/año, un significativo ahorro energético de 35% respecto del caso BASE. Se destaca un ahorro energético principalmente en calefacción (52,5% menos). No obstante, el consumo requerido para refrigeración es similar en ambos casos y presenta un importante impacto en los costos totales. Ello conlleva a examinar el caso CEVE en este aspecto y proponer mejorar el albedo de la teja y así disminuir la absorción de calor por parte de la cubierta.

A continuación, se presentan los resultados de simulación de un de los ensayos a escala de laboratorio de recubrimiento de la teja con pintura latex blanco. Como se observa en la Tabla 2, el consumo total es de 2403 kWh/año, equivalentes a 40 kWh/m<sup>2</sup>/año un 43% menos de consumo energético por climatización respecto al caso BASE. El ahorro obtenido es un 9% mayor al caso CEVE, por tanto, podemos afirmar que la propuesta técnico arquitectónica CEVE 2 es una opción válida para desarrollar y CEVE logra un ahorro significativo para reemplazar a la construcción tradicional del caso BASE, con las ventajas ambientales asociadas que ello implicaría.

Zona	Heating Wh	Cooling Wh	Consumo electrico Kwh	Consumo gas m <sup>3</sup>	\$ Gas	\$ Elect
Est./ Com	311159	641260	641	29	\$ 149	\$ 1.835
Dorm. 1	240001	42997	43	23	\$ 115	\$ 123
Baño	0	0	0	0	\$ -	\$ -
Cocina	4014	274277	274	0	\$ 2	\$ 785
Dorm. 2	776795	113073	113	74	\$ 372	\$ 324
<b>Subtotal</b>	<b>1331969</b>	<b>1071607</b>			<b>\$ 638</b>	<b>\$ 3.067</b>
<b>Total Consumo Anual</b>					<b>\$</b>	<b>7.139</b>

Tabla 2. Calculo de costos de energía de climatización de caso CEVE 2

## 7. CONCLUSIONES

Se puede afirmar que el presente trabajo cumple con los objetivos propuestos. El proyecto técnico arquitectónico llamado caso CEVE responde satisfactoriamente la premisa de lograr un ahorro energético significativo respecto del caso BASE (35%). Cabe recordar que el prototipo de vivienda FADIPEV ya tiene incorporadas numerosas variables de diseño bioclimático como compacidad, orientación, es apareada, aberturas mínimas, ventilación natural, baño compartimentado, posibilidad de ampliaciones sin derribar paredes tanto en planta baja como alta y posterior división en unidades independientes durante la vida útil de la misma, etc. lo cual el prototipo BASE genera un ahorro respecto a la generalidad de la vivienda social en la región. A su vez, se ratifica la buena performance de los sistemas constructivos desarrollados por el CEVE llamados BENO PET y TEJA de caucho y polietileno con las connotaciones positivas en cuanto a la posible disminución en la producción de CO<sub>2</sub>, tanto por la disminución del consumo energético total anual, como la reducción de incineramiento de residuos como el caucho y plásticos aquí reciclados. Los resultados indican que un 82% del tiempo las condiciones de confort interior son aceptables. Los consumos de las opciones CEVE alcanzan valores cercanos a 40 kWh/m<sup>2</sup>/año. Cabe destacar que el caso CEVE 2 con teja pintada blanca ahorra un 43% de energía respecto al caso BASE y un 9% al caso CEVE, motivando así la continuación de la investigación en los aspectos aquí analizados. En definitiva, el caso CEVE presenta una performance excelente en cuanto a ahorro energético, reducción de contaminación y confort interior válida para reemplazar paulatinamente a la vivienda social masiva en la región bioclimática IIIa, con el impacto positivo que ello significaría.

Por otra parte, esta medida internacional (kWh/m<sup>2</sup>/año) permite comparar con estándares de viviendas en diferentes contextos climáticos y tecnológicos. Es posible optimizar el diseño y mejorar la calidad de las aislaciones sin modificar sustancialmente el proyecto o los sistemas constructivos.

No obstante, el proyecto puede ser mejorado en los siguientes aspectos planteados en líneas actuales de investigación: mejorar la calidad de las aberturas y moderar al máximo la cantidad de aberturas y su tamaño. Continuar con los ensayos y simulaciones de techos ventilados de material reciclado y con los ensayos y simulaciones de sistemas de BENO PET bovedilla para disminuir el peso de las placas y los puentes térmicos. Incorporar vegetación en el modelo de simulación para el sombreado estival, incorporar otros prototipos compactos de vivienda social y evaluar diferentes materiales basados en residuos.

De los cuatro objetivos del proyecto marco, tres están en pleno proceso y el presente trabajo aporta conclusiones significativas al mismo:

- Desarrollar proyectos demostrativos de viviendas bioclimáticas que alcancen niveles aceptables de confort higrotérmico en diferentes contextos climático-económicos del país.
- Desarrollar y evaluar termo-energéticamente nuevos materiales de construcción (bloques, paneles y revestimientos termo-aislantes para paredes, pisos, cielorrasos y cubiertas).
- Desarrollar nuevos sistemas constructivos eficientes energéticamente y competitivos en el mercado nacional, tanto con materiales disponibles en el mercado, como con nuevos materiales no convencionales, incorporando en la optimización por simulación desarrollos nuevos y de otros grupos del CEVE.
- Optimizar la economía de los proyectos demostrativos desarrollados en la etapa anterior evaluando sobrecostos iniciales por la adopción de estrategias bioclimáticas pasivas y activas, sus períodos de amortización y los ahorros energético-económicos de funcionamiento logrados durante su vida útil.

En cuanto a optimizar los sistemas constructivos, se ha rediseñado, mediante cálculos higrotérmicos, el sistema BENO PET BOVEDILLA, la placa construida con bovedilla de PET (0,035 m de espesor). Los buenos resultados en cuanto a disminuir los problemas de excesivo peso de la placa, no presentar condensaciones, incluso en condiciones extremas, manteniendo una alta performance en cuanto a la transmitancia térmica a nivel de cálculos, permitió pasar al nivel de construcción en el taller experimental. Se adaptó el molde de ladrillos, se construyeron placas y se las ha sometido a ensayos. En esta línea se prevé también la construcción de la placa única con estructura de malla interior, la conveniencia o no de incorporar aditivo burbujeante para mejorar aún más conductividad sin descuidar la resistencia mecánica de las placas, tanto la BENO PET BOVEDILLA como la PLACA PET. Si se logra desarrollar una placa se disminuirían además los tiempos de construcción y se podría adaptar a otros sistemas constructivos y otros tipos de estructuras, siendo así un elemento altamente versátil con alta performance térmico-energética.

En cuanto a la terminación de la teja, se está evaluando la capacidad de adherencia de pinturas o recubrimientos mediante la incorporación de productos. Además, se continúa investigando la aplicación de numerosos aditivos retardantes de llama. En cuanto a los techos ventilados con este material, simulaciones preliminares han dado excelentes resultados en diversos climas. Se continuará trabajando en esta línea incluso en prototipo experimental.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arup Concrete Centre 2017. *Dynamic-Thermal-Properties-Calculator-(ver-1-0)*
- Badescu V., Laaser N., Crutescu R., Crutescu M, Dobrovicescu A., Tsatsaronis G. *Modeling, validation and time dependent simulation of the first large passive building in Romania. Renew Energy. 2011;36(01):142-57.*
- Berretta H., Arguello R., Gatani M., Gaggino R. "Certificado de Aptitud Técnica: Placa de ladrillos elaborados con PET reciclado y cemento". Responsable Técnico: Asociación de Vivienda Económica. Resolución Número: 2721 de la Subsecretaría de Vivienda y Desarrollo Urbano de la Nación. Fecha de otorgamiento: 2007. Buenos Aires, Argentina.
- Berretta H., Gaggino Rosana, Arguello Ricardo. "Patente de invención: Procedimiento para realizar una mezcla cementicia aplicable a la fabricación de elementos de construcción". Titular: CONICET. País: Argentina. Número de Acta en INPI: P030101019. Número de Resolución: AR047617B1. Fecha de otorgamiento: 27 / 08 / 08.
- Crawley, 2017. *typical and extreme meteorological weather data of South America.* [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/default.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/default.html)

- ECOTECT, <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-62481/ecotect-software-de-diseno-de-construccion-sustentable>.
- Gaggino R., Arguello R., Berretta H. "Procedure for making a cement mixture aplicable to the manufacture of building elements". *Recent Patents on Materials Science Journal*. ISSN: 1874-4648 (Print) 1874-4656 (Online). Editorial: Bentham Open Publications. Oak Park, E.E.U.U. Volumen: 3, Número: 3, Pp. 167 a 177. Junio de 2010.
- Gaggino R., Kreiker J., Sanchez Amono M., Arguello R., Positieri M., Baronetto C. "Patente nacional: Composición de una mezcla para la fabricación de componentes constructivos". Titulares: CONICET, AVE, y UTN UTN. País: Argentina. En gestión. Número de Expediente en INPI: 20150102786. Fecha de solicitud: 31/08/2015.
- Gaggino R., Kreiker J., Sánchez amono M., Arguello R., Positieri M., Baronetto C. "Cover system for roofs manufactured with recycled polyethylene and rubber". *Key Engineering Materials Journal*. ISSN: 1662-9795. Editorial: Trans Tech Publications. Zurich, Suiza. Volumen 668. Junio de 2016. Pp.348 a 356.
- Gaggino R., Positieri M., Kreiker J., Peisino L., Sánchez Amono M., González Laría J., Baronetto C. "Certificado de Aptitud Técnica: Teja elaborada con caucho y plástico reciclados". Número 3174. Expediente CUDAP S02: 0107903/2016 de la Dirección Nacional de Acceso al Suelo y Formalizaciones del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Responsable Técnico: Centro Experimental de Vivienda Económica. Fecha de otorgamiento: 18 / 10 / 2018. Buenos Aires, Argentina.
- INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSO). 2011. Censo nacional 2010. Available at: < <http://www.indec.mecon.ar/> > Planillas V1, V2, V7.
- INTI. "Argentina comienza a reciclar neumáticos fuera de uso" *Noticiero Tecnológico Semanal N°18*. Publicación digital del 26 de julio de 2010.
- Lam J.C., Yang L., Liu J. Development of passive design zones in China using bioclimatic approach. *Energy Convers Manage*. 2006;47(04):746- 62.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) de la Nación. *Informe del Estado del Ambiente*. Año 2017.
- Nejat P., Jomehzadeh F., Taheri M.M., Gohari M., Majid Mza. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2015;43:843-862.
- Norma IRAM 11549. Aislamiento térmico de edificios. Revisión of IRAM 11549:1993, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, 2002.
- Norma IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotermicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Calculo y valores límites, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2001.
- Norma IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina, 1996, Mod. 2002.
- Norma IRAM 11659-1:2004. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotermicas. Ahorro de energía en refrigeración, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2004.
- Norma IRAM-11603. Clasificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, 1996.
- Oga, M.; Sulaiman, H. 2018. Diseño sustentable basado en simulación de oficina/vivienda para el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - Deán Funes Córdoba, Argentina. V Congreso Sudamericano de Simulación de Edificios. IBPSA Chile – Argentina-Brasil. International Building Performance Simulation Association. Valparaíso, Chile 27-28 de setiembre de 2018.
- Omrany H.; Marsono A.K.. Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies. *British Journal of Applied Science & Technology* 13(6): 1-16, 2016.

- *Publicaciones periódicas CEAMSE. Argentina. Año 2017*
- *Sadineni SB, Madala S, Boehm RF. Passive building energy savings: A review of building envelope components. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15(08):3617-31.*
- *Sulaiman y Lara, 2018. Simulación térmico-energética de prototipo de vivienda social FADIPEV con sistema constructivo liviano en clima húmedo y árido. La Serena Chile - San Juan Argentina. V Congreso Sudamericano de Simulación de Edificios. IBPSA Chile – Argentina-Brasil. International Building Performance Simulation Association. Valparaíso, Chile 27-28 de setiembre de 2018.*
- *Sulaiman, H. 2011. Confiabilidad y economía en la optimización de las estrategias bioclimáticas. Tesis doctoral (S). Programa de Doctorado de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de Mendoza.*
- *Sulaiman, H., Mazzocco, Ma. Pía, Filippin, Celina. 2017. Análisis Económico-Energético de Envolventes Aisladas con Simulación en CASAFAD en dos Ciudades de Argentina. Anais no XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído realizado de 27 a 29 de setembro de 2017, na UNIVALI campus Balneário Camboriú/SC.*
- *Tejavathu RU, RAVI P, SHUKLA K. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. EnergyBuild 2010;42(10):1592 600.*