

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

Rosana Gaggino

Doctora en Ciencias del Diseño. Magister en Diseño Arquitectónico y Urbano, y arquitecta. Investigadora independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas - CONICET. Directora del Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), CONICET - AVE.

E-mail: directora@ceve.org.ar
ORCID: 0000-0002-4724-1165

Jerónimo Kreiker

Doctor y licenciado en Ciencias Químicas. Especialista en Ingeniería en Calidad. Investigador independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas – CONICET. Vicedirector del Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE), CONICET - AVE.

E-mail: jkreiker@ceve.org.ar
ORCID: 0000-0001-6528-3695.

Natalia Fernández

Arquitecta. Especialista en Cooperación al desarrollo de asentamientos precarios y habitabilidad básica (Universidad Politécnica de Madrid). Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas – CONICET, con sede en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE), Conicet-AVE.

E-mail: nfernandez@ceve.org.ar
ORCID: 0000-0002-4410-3509

María Paz Sánchez Amono

Arquitecta. Doctora en Ingeniería mención Materiales. Investigadora asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas –CONICET–, con sede en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE), Conicet-AVE.

E-mail: arq.mpsa@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7333-0938

Lucas Ernesto Peisino

Doctor y licenciado en Ciencias Químicas. Investigador adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas –CONICET– con sede en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE), CONICET - AVE.

E-mail: lpeisino@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8670-6877

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas –CONICET– por el financiamiento del proyecto en el marco del cual se realizó este trabajo.

También agradecen al personal de apoyo a la investigación del instituto que participó en la elaboración de probetas, realización de ensayos y construcción de prototipos: Julián González, Alberto Floreano, Federico Strzelecki, Vanina Greppi, Luis Sosa, Miguel González y Livio Carignano.

ISSN1666-6186. VOL.39 - N.° 39 (Noviembre de 2024) PP. 115 - 132
Recibido: 06/05/24 - Evaluado y aprobado: 06/09/24
<https://doi.org/10.30972/crn.39397896>



Rosana Gaggino
Jerónimo Kreiker
Lucas Ernesto Peisino
María Paz Sanchez Amono
Natalia Fernández

VOL. 39- N.º 39
(NOVIEMBRE DE 2024)
PP. 115-132
ISSN1666-6186

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

RESUMEN

Este trabajo fue realizado en municipios de la provincia de Córdoba, en los cuales se relevaron los residuos sólidos urbanos –RSU– de sus vertederos y se realizaron propuestas de reciclado para la fabricación de elementos constructivos.

El propósito del trabajo fue que los gobiernos municipales visibilicen la posibilidad de crear nuevos circuitos productivos que mejoren las condiciones ambientales y habitacionales de los sectores de menores recursos a partir del reciclado de residuos.

Se elaboró un diagnóstico de los RSU que produce cada municipio, y se realizaron transferencias tecnológicas de elementos constructivos desarrollados en el instituto, que incluyen estos residuos.

Se construyeron prototipos demostrativos en cada municipio para motivar a la población a realizar recolección diferenciada de residuos y promover la creación de emprendimientos productivos.

Finalmente, se pusieron en marcha emprendimientos productivos, brindando asesoramiento y control de calidad de los productos.

Palabras clave

Arquitectura – construcción – municipios - ecología - reciclado

PROPOSAL FOR RECYCLING URBAN SOLID WASTE IN MUNICIPALITIES OF CÓRDOBA (ARGENTINA) FOR THE DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION COMPONENTS FOR SOCIAL PURPOSES

ABSTRACT

This work was carried out in municipalities of the province of Córdoba, in which the urban solid waste -USW- from their landfills was surveyed and proposals were made for their recycling, for the manufacture of construction components. The purpose of the work was for municipal governments to make visible the possibility of creating new productive circuits that improve the environmental and housing conditions of the lower-income sectors, based on waste recycling. A diagnosis of the USW produced by each municipality was prepared, and technological transfers of construction components, developed in the institute, which include this waste, were carried out. Demonstrative prototypes were built in each municipality, to motivate the population to carry out differentiated waste collection and promote the creation of productive enterprises. Finally, productive ventures were launched, providing advice and quality control of the products.

Keywords

Architecture – construction – municipalities – ecology – recycling

PROPOSTA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS DE CÓRDOBA (ARGENTINA) PARA O DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO PARA FINS SOCIAIS

RESUMO

Este trabalho foi realizado em municípios da província de Córdoba, onde foram levantados os resíduos sólidos urbanos -RSU- de seus aterros e foram feitas propostas de reciclagem, para a fabricação de componentes de construção. O objetivo do trabalho foi que os governos municipais tornassem visível a possibilidade de criação de novos circuitos produtivos que melhorem as condições ambientais e habitacionais dos setores de menor renda, a partir da reciclagem de resíduos. Foi elaborado um diagnóstico dos RSU produzidos por cada município e realizadas transferências tecnológicas dos elementos construtivos desenvolvidos no instituto, que incluem estes resíduos. Foram construídos protótipos demonstrativos em cada município, para motivar a população a realizar coleta diferenciada de resíduos e promover a criação de empreendimentos produtivos. Por fim, foram lançados empreendimentos produtivos, proporcionando assessoria e controle de qualidade dos produtos.

Palavras-chave

Arquitetura – construção – municípios – ecologia – reciclagem

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos constituyen un problema para todos los municipios porque producen contaminación ambiental, por lo que se busca darles una disposición adecuada en vertederos controlados, con un alto costo asociado. La cantidad que se produce es alarmante; según cálculos oficiales, un argentino promedio produce 1,15 kilogramos de residuos por día.

“En Argentina se genera un promedio de 45.000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, lo que equivale a una tonelada de basura cada dos segundos. Esto tiene un impacto negativo en el ambiente” (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2024). Por esta razón, es imperativo realizar acciones para minimizar la producción de residuos y reciclar lo máximo posible, siguiendo los postulados de Desarrollo Sostenible y Economía circular.

Según información recogida por un periódico nacional: “En el país, sólo se recicla el 6% del total de los residuos. El 94% de los residuos van a basurales a cielo abierto o rellenos sanitarios, sin separación en origen” (DIARIO PERFIL, 2021).

En las dos últimas décadas se han realizado acciones en todo el mundo basadas en el concepto de Desarrollo Sostenible. Este concepto fue definido en el informe presentado por la primera ministra noruega Gro Brundtland en la 42va sesión de las Naciones Unidas en 1987: “El desarrollo es sostenible cuando satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que satisfagan sus propias necesidades” (BRUNDTLAND, 1987).

En el campo del hábitat, específicamente, ha surgido en las últimas dos décadas el concepto de la arquitectura sostenible, la cual promueve el uso de recursos renovables, el reciclado de residuos, la eficiencia energética, y el cuidado del ambiente, entre sus postulados principales (KIBERT, 1994).

Nuestro instituto de investigación adhiere a estos postulados y por ello ha formado el Área de Nuevos Materiales, dedicada a desarrollar investigaciones con materiales novedosos para la construcción, que incluyen residuos reciclados, y de bajo consumo energético.

Fruto de estas investigaciones fueron ladrillos, bloques y placas elaborados con materiales plásticos procedentes de envases de bebidas reciclados, las tejas elaboradas con caucho procedente de neumáticos fuera de uso y plásticos procedentes de bidones, bolsas y caños descartados, los agregados para mezclas cementicias elaborados con residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, las placas para aislación térmica elaboradas con residuos de cartón o poda ligados con micelio, y las ventanas, tablas y bancos fabricados con plásticos diversos reciclados, entre otros.

Estas tecnologías fueron puestas a disposición de municipios de la provincia de Córdoba con el objetivo de generar circuitos productivos locales destinados a mejoras habitacionales en poblaciones de bajos recursos.

La elección de las tecnologías se basó en un diagnóstico de la cantidad y tipo de residuos que se encuentran en cada municipio, y otras cuestiones como la simplicidad de mano de obra, facilidad de logística, bajo costo de inversión inicial para el montaje de los emprendimientos productivos, rentabilidad esperada, entre otros factores.

Los municipios elegidos para la experiencia fueron los de Arias, Arroyito, Las Varillas, Laborde, y Juárez Celman, con los cuales se firmaron convenios de cooperación.

Los objetivos del trabajo fueron:

- Promover el reciclado de los residuos sólidos urbanos (RSU) existentes en vertederos de municipios de la provincia de Córdoba, para colaborar en reducir la contaminación ambiental.

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

- Desarrollar componentes constructivos reciclando estos residuos.
- Incentivar la creación de circuitos productivos, que mejoren las condiciones habitacionales de los sectores de menores recursos.

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se aplicaron distintas metodologías combinadas, ya experimentadas por el equipo de trabajo. Se seleccionaron algunos municipios de la provincia de Córdoba para realizar esta experiencia, los cuales habían avanzado en las campañas de recolección diferenciada de residuos y en el estudio de aplicaciones posibles. También habían manifestado su aval inicial al proyecto.

Se procedió a la identificación y caracterización del contexto sociopolítico, habitacional y ambiental de estos municipios, con base en datos censales y locales existentes, o construidos en talleres con la participación de funcionarios de los gobiernos municipales. Se asentó esta información en planillas de registro. Se elaboraron informes de diagnóstico de la situaciones locales, con sus recursos y necesidades, y se seleccionaron las metodologías operativas y técnicoconstructivas más apropiadas para cada programa y/o proyecto habitacional dentro de un enfoque integral, contemplando la vivienda, el trabajo (ayuda mutua, esfuerzo propio, subcontratación de MyPES y/o modalidades mixtas) y el desarrollo social y comunitario.

Paralelamente, se avanzó en el desarrollo de componentes constructivos aplicando materiales reciclados, utilizando la metodología exploratoria, descrita por Sabino (1996). Este tipo de investigación se realiza cuando el tema ha sido poco explorado, y aparece un nuevo fenómeno que, por su novedad, no ha sido aún objeto de una investigación sistemática. Sintéticamente y a partir

del análisis y selección de materiales y componentes constructivos a producir, se realizaron experiencias sucesivas, con la fabricación de probetas en las cuales se modificaron variables de a una por vez (tales como la dosificación de materiales, granulometrías, materiales constitutivos, procedimientos de elaboración, formas de compactación, y diseño morfológico de componentes), se realizaron ensayos de laboratorio sobre las propiedades físicas y mecánicas de los componentes, se evaluaron resultados, se realizaron ajustes en base a conclusiones parciales, se construyeron prototipos y se evaluó su comportamiento en el tiempo, para finalmente tramitar los Certificados de Aptitud Técnica que otorga la Secretaría de Vivienda de la Nación. En algunos casos de probada originalidad, se obtuvieron patentes de invención otorgadas por el Instituto Nacional de Propiedad Industrial –INPI– (en los casos de los ladrillos, bloques y placas elaboradas con materiales plásticos procedentes de envases de bebidas reciclados, las tejas elaboradas con caucho procedente de neumáticos fuera de uso y plásticos procedentes de bidones, bolsas y caños descartados, y los agregados para mezclas cementicias elaborados con residuos de aparatos eléctricos y electrónicos).

Se definieron y probaron a escala piloto los procesos productivos necesarios de poner en marcha en cada municipio. Los mismos están articulados con los procesos de mejoramiento habitacional y fortalecimiento laboral existentes o a impulsar.

Se ofrecieron los servicios de transferencia de tecnología, consistentes en cursos de capacitación para el montaje de los emprendimientos productivos, a cargo de personal de transferencia del instituto.

Se construyeron prototipos demostrativos utilizando los sistemas y materiales constructivos reciclados desarrollados, en cada uno de los municipios.

Por motivo de la pandemia COVID-19 –que demoró la agenda de trabajo– y dificultades financieras de los equipos municipales, se pudo construir solo un emprendimiento productivo de fabricación de ladrillos de PET, en Juárez Celman. En los otros municipios se concluyó con la etapa de diagnóstico y propuestas, y se está a la espera de los fondos para la construcción de los galpones de producción de componentes constructivos.

ESTADO DEL ARTE EN LA TEMÁTICA

Respecto del desarrollo de elementos constructivos con materiales reciclados –uno de los objetivos del presente trabajo–, hay numerosos antecedentes en el ámbito nacional e internacional que sirvieron de punto de partida de esta investigación; sin embargo, existen diferencias en algunos o varios de los siguientes aspectos: dosificación; materiales constitutivos; procedimientos de elaboración; diseño; propiedades físicas y químicas; aplicaciones y costo. Estos antecedentes fueron descriptos en la documentación de las solicitudes de patente nacional que se presentaron desde el instituto.

La novedad de estos desarrollos tecnológicos es que se utiliza una tecnología asequible, no sofisticada, ecológica y adecuada para la fabricación de elementos para viviendas económicas, con materiales que se disponen en abundancia en municipios de la provincia.

Se mencionan a continuación los principales antecedentes consultados, sobre elementos constructivos con materiales reciclados:

- Los ladrillos huecos desarrollados y comercializados por la empresa Easybrick, de Buenos Aires, fabricados con plásticos reciclados fundidos, que se encastran como un lego (EASYBRICK, 2024).
- Los bloques macizos de plásticos varios reciclados, de la marca comercial Brickarp, desarrollados y comercializados

por la Fundación para la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico -FICIDET, de Colombia (BRICKARP, 2024).

- Los materiales fabricados con fibras de madera ligados con polímeros fundidos (ambos materiales de desecho) desarrollados por el arquitecto Juan Giaccardi de la Escuela Federal de Lausana, Suiza (NICOD, 1990).
- Las placas con fibras de sisal desarrolladas por Vahan Agopyan y Holmer Savastano Jr. en Brasil (AGOPYAN ET AL, 1997).
- Las pizarras para techos elaboradas con una mezcla de plásticos triturados, patentadas en Europa por Zhang (ZHANG, 2001).
- Las tejas elaboradas con embalajes de larga vida triturados, compuestos por una lámina de cartón y plásticos, desarrolladas en Brasil por Fiorelli, Morceli, Vaz y Dias (FIORELLI ET AL, 2009).
- Las tejas Tejalar desarrolladas y comercializadas por la Fábrica Recypack, en La Rioja, Argentina, compuestas por láminas de cartón y plásticos triturados procedentes de embalajes larga vida de bebidas descartados (RECYPACK, 2024).
- Los componentes para techos elaborados con plásticos fundidos y áridos diversos, patentados en Europa por Boor (BOOR, 2009).
- Las tejas elaboradas con grumos de caucho mezclados con granos de sílice, ligados con un aglutinante líquido polimerizable, patentadas en EE.UU. por Crivelli (CRIVELLI, 1993).
- Los productos para techos que simulan pizarras o tejas de arcilla, patentados en EE.UU. por Edson (EDSON, 2004).
- Las tejas Euroshield Roofing, elaboradas con caucho y polvo de pizarras, desarrolladas y comercializadas por la empresa Global Environmental Manufacturing (EUROSHIELD ROOFING, 2024).
- Las chapas onduladas para techo desarrolladas y comercializadas por la empresa T Plak en Pilar, provincia de Buenos Aires, Argentina, compuestas por láminas de cartón y plásticos triturados procedentes de embalajes larga vida de bebidas descartados (T PLAK, 2024).
- - Los estudios sobre manejo responsable del RAEE, realizados por Ongondo y su grupo de investigación (ONGONDO, 2007).

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

- - La caracterización del residuo de WEEE y las aplicaciones propuestas por Paria y Yuet (PARIA ET AL., 2006).
- - El estudio realizado por Cerimi y su grupo de investigación, sobre el uso de micelio de hongos en materiales biobasados (CERIMI ET AL., 2019).
- - El estudio realizado por Elsacker y su grupo de investigación, sobre el desempeño de un biomaterial con sustrato celulósico y ligante de micelio (ELSACKER ET AL., 2019).

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se describen brevemente los procedimientos de fabricación, las propiedades técnicas y las ventajas de los desarrollos tecnológicos que se realizaron en el instituto utilizando residuos reciclados, disponibles en los municipios seleccionados. Algunos de ellos fueron desarrollados y patentados en investigaciones previas del instituto, pero aún se siguen estudiando aspectos no abordados anteriormente (por ejemplo: los ladrillos, bloques y placas con PET; y las tejas con caucho y plástico reciclados); y otros que aún se encuentran en desarrollo, y no están patentados (por ejemplo, las placas con residuos lignocelulósicos y micelio; y las ventanas con plásticos reciclados).

Ladrillos, bloques y placas con PET

Materiales: Cemento Portland común, Polietileno-tereftalato (PET) procedente de envases descartables de bebidas, aditivos y agua (Figura 1).

Procedimiento: Se trituran las botellas de PET hasta llegar a obtener partículas de 3 mm de largo máximo. Estas partículas se mezclan con cemento, agua y aditivos, en una hormigonera. Luego, se procede al moldeo de los componentes, utilizando una máquina bloquera manual. Los componentes se ubican sobre una pista de cemento alisado, en la cual permanecen durante 24 horas, luego son levantados y apilados. Se realiza el curado con agua, para asegurar su correcto fraguado, durante 28 días; al cabo de ese período están listos para su uso. Se aplican en muros exteriores e interiores, y en losas.

Propiedades técnicas

Ventajas: se destaca su mayor aislación térmica, con respecto a otros materiales de cerramiento (Tabla 1). Un muro de 15 cm de espesor con ladrillos de PET posee la misma aislación térmica que un muro de 30 cm de espesor con ladrillos de barro cocido. Son más livianos



Figura 1. Componentes fabricados con PET reciclado. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

que otros componentes tradicionales (ladrillo común, bloque de hormigón). Son fáciles de cortar y aserrar (GAGGINO, 2008).

Se ha obtenido el Certificado de Aptitud Técnica (CAT) de estos elementos constructivos, otorgado por la Secretaría de Vivienda y Desarrollo Urbano de la Nación, en 2006.

Se ha obtenido la patente de invención otorgada por el Instituto Nacional de Propiedad Industrial -INPI- en 2008.

Actualmente se está avanzando en la posibilidad de modificar la granulometría de los materiales que componen estos elementos constructivos, para simplificar y economizar su producción (Peisino et al, 2024).

TABLA 1 Propiedades técnicas de componentes con PET reciclado

PROPIEDAD TÉCNICA	COMPONENTES			NORMA
	LADRILLO	BLOQUE DE LOSA	BLOQUE DE MURO	
Dimensiones (cm)	5,5x12,5x26,2	13,0x39,7x18,5	20,0x20,5x40,0	
Masa (kg)	1,4	5,6	6,2	
Peso específico (kg/m ³)	1150	1386	1220	IRAM 11561
Absorción de agua (en peso) (%)	19,1	9,0	15,9	IRAM 11561
Absorción de agua (en volumen) (kg/m ³)	214,0	No determinado	188,6	IRAM 11561
Resistencia a la compresión (MPa)	2,0	No determinado	1,0	IRAM 11561-4
Resistencia a la flexión (daN)	No determinado	211,1	No determinado	IRAM 11555
Resistencia al envejecimiento	Satisfactorio frente a rayos UV y humedad	Satisfactorio frente a rayos UV y humedad	Satisfactorio frente a rayos UV y humedad	ASTM D 4329 y ASTM G 154.
Permeabilidad al vapor de agua (% g/mhkPa)	Entre 1,76 y 3,81 x 10 ⁻² ± 4	Entre 1,76 y 3,81 x 10 ⁻² ± 4	Entre 1,76 y 3,81 x 10 ⁻² ± 4	ASTM E-96 e IRAM 1735
Resistencia al fuego	Clase RE 2 Combustible de muy baja propagación de llama	Clase RE 2 Combustible de muy baja propagación de llama	Clase RE 2 Combustible de muy baja propagación de llama	ASTM E 162
Conductividad térmica (W/mK)	0,15	0,15	0,15	ASTM C 177 e IRAM 11559
Adherencia de revoques (MPa)	0,25	0,25	0,25	Método INTI
Aislación acústica (db) (en un muro revocado de ambos lados)	41,0	No determinado	No determinado	Método CIAL/UNC

Fuente: elaboración propia.

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

Tejas y cumbres con caucho y plásticos

Materiales: caucho triturado proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU), y plástico procedente de bidones, bolsas y caños descartados (Figura 2).

Procedimiento: se tritura el caucho y el plástico con molinos especiales para tal fin. Se pesa el material, se mezcla, se lo calienta y funde en una extrusora, y se lo moldea con una prensa neumática aplicando 20 t de presión durante 4 minutos. Luego la pieza es retirada del molde y enfriada en un bastidor para evitar la deformación del componente por la tensión de enfriamiento. Los bordes sobrantes se cortan con una sierra de banco, y la pieza está lista para su uso. Las tejas se aplican en los faldones de cubiertas inclinadas, y las cumbres en los bordes superiores.



Figura 2. Teja elaborada con materiales reciclados.

Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

Propiedades técnicas

Ventajas: se destaca su resistencia al impacto duro, no se rompe con la acción del granizo. Posee alta resistencia a la flexión, por lo que se evitan roturas por caídas de las piezas (Tabla 2). Ofrece una aislación térmica mayor que otros componentes tradicionales, como las tejas de hormigón. Se realizaron diferentes experiencias de colo-

ración de las piezas, en los casos en los que se utilizaron colores más claros la respuesta opto-térmica fue más favorable frente a la radiación solar (SULAIMAN ET AL, 2020).

Se ha obtenido el Certificado de Aptitud Técnica (CAT) de este componente constructivo, en 2018. También se obtuvo la patente nacional, otorgada por el INPI, en el año 2020.

Actualmente se está avanzando en la incorporación de pigmentos para su coloración, en la determinación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) emitidos y en la obtención de piezas de mayor tamaño.

TABLA 2 Propiedades técnicas de tejas de caucho y plástico reciclados

PROPIEDAD TÉCNICA	VALOR	NORMA
Dimensiones (cm)	40,8x23,0x1,5	
Masa (kg)	1,29	IRAM 12528-1
Peso específico (kg/m ³)	925	IRAM 12528-1
Conductividad térmica (W/m ² °C)	0,33	IRAM 11559 y ASTM C 177
Permeabilidad al aire (10-16m ²) kt	0,001	IRAM 11601
Permeancia al vapor de agua	Satisfactorio	IRAM 11632-1
Resistencia al impacto duro	Satisfactorio	IRAM 12528-2
Resistencia a la flexión	Satisfactorio	IRAM 12528-2
Resistencia a la heladicidad	Satisfactorio	IRAM 11632-2
Absorción de agua (%)	0,3	IRAM 12528-03
Resistencia al envejecimiento	Satisfactorio	ASTM D 4329:99
Inflamabilidad	Satisfactorio	IEC 60695-2-11: 2013

Fuente: elaboración propia.

Agregados sintéticos para mezclas cementicias con residuos de aparatos eléctricos y electrónicos -RAEE.

Materiales: plástico triturado proveniente de RAEE, cemento Portland común, carbón activado de origen vegetal, y polvo de cuarzo.

Procedimiento: se trituran los residuos de RAEE, hasta alcanzar un tamaño de partículas entre 1-3 mm. Se pesan las partículas y se las introduce en la máquina mezcladora. Luego se incorpora una mezcla de cemento, polvo de cuarzo, y carbón activado, previamente pesados y mezclados. Se va agregando agua hasta completar una relación Agua/Cemento 0,5. El objetivo de este recubrimiento es realizar la estabilización de las sustancias contaminantes (aditivos ignífugos) presentes en estas partículas plásticas. Se aplican tres capas. Las partículas se dejan secar 24 horas luego de la aplicación de cada capa, y se realiza un desterronado y tamizado. Las partículas de árido sintético obtenidas se pueden utilizar a los 28 días, lapso en el que se produce el fraguado del cemento. Con este material se fabrican ladrillos, bloques y placas, para muros exteriores e interiores.



Figura 3. Agregado de RAEE reciclado con recubrimiento.

Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

Propiedades técnicas

Ventajas: por sus características físico-químicas, el material desarrollado es apto para ser utilizado como agregado en morteros cementicios ya que los contaminantes se encuentran estabilizados (Tabla 3). De esta manera, se revaloriza un residuo especial de una manera responsable, segura y de bajo costo (CAPPELLETTI ET AL, 2021).

Se obtuvo la patente nacional, otorgada por el INPI, en el año 2023.

Actualmente se están probando distintas alternativas de diseño de elementos constructivos con este material para su aplicación en mezclas de morteros cementicios y hormigones (ladrillos, bloques, placas, marcos de ventanas, losas alivianadas).

TABLA 3 Propiedades técnicas del árido sintético en base a RAEE

PROPIEDAD TÉCNICA	VALOR	NORMA
Dimensiones promedio (mm)	1,9±0,3	IRAM 1505
Módulo de Finura	4,72	CIRSOC 201
Peso específico (kg/m ³)	600 -- 800	IRAM 1505
Forma	Partículas esféricas	-
Circularidad	0,73±0,07	IRAM 1505
Redondez	0,7±0,1	IRAM 1505
Resistencia a la compresión de probetas de mortero (MPa)	1,8	IRAM 1622

Fuente: elaboración propia.

Placas para aislación térmica con residuos celulósicos ligados con micelio

Materiales: residuos lignocelulósicos (tales como cartón, papel, residuos de poda, cáscaras de frutas) y semillas de hongos (Figura 4).

Procedimiento: se trituran los residuos lignocelulósicos, se los descontamina y se los coloca en moldes. Luego se inoculan semillas de hongos de las variedades *Pleurotus ostreatus* o *Ganoderma Lucidum*. Se los deja incubar durante quince días o hasta la colonización completa del hongo en condiciones de temperatura y humedad controladas, lapso en que se produce el crecimiento del micelio de los hongos, el cual toma la forma del molde. Finalmente se deshidrata en horno durante 24 horas, y la pieza está lista para su uso. Se aplica para aislación térmica, en paneles laterales o de cielorraso.



Figura 4. Placa de residuos celulósicos ligados con micelio.
Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

Propiedades técnicas

Ventajas: estos materiales biobasados son aptos para fabricar placas resistentes, livianas, de buena aislación térmica y resistentes a los insectos (Tabla 4). Son biodegradables y compostables, a diferencia de otros materiales tradicionalmente utilizados en la construcción como aislantes térmicos, tales como el poliestireno expandido y la lana de vidrio (FERNÁNDEZ ET AL, 2022).

Actualmente se están completando los ensayos de laboratorio para solicitar el Certificado de Aptitud técnica, y se ha ingresado una solicitud de patente en el INPI en el año 2023.

TABLA 4 Propiedades técnicas de placas con micelio de hongos

PROPIEDADES TÉCNICAS	VALOR	NORMA
Espesor (mm)	50	
Peso específico (kg/m ³)	146,3	ASTM D1895 17
Resistencia a flexión (MPa)	0,38 ±0,10	ASTM D790 10
λ Conductividad térmica (w/mK)	0,027	IRAM 11559 y ASTM C 177

Fuente: elaboración propia.

Ventanas con plásticos diversos reciclados

Materiales: polietileno-tereftalato (PET) procedente de envases descartables de bebidas, y polietileno procedente de bolsas para almacenar cereales en la agroindustria, comúnmente llamadas “silobolsas”.

Procedimiento: se trituran los residuos plásticos hasta llegar a un tamaño máximo de partícula de 3 mm. Luego se pesan las partículas, se mezclan y se las introduce

en una extrusora de simple husillo, donde se calientan con una temperatura promedio de 240 °C. Posteriormente se vierte la mezcla en un molde-guía de chapa plegada donde se completa el proceso de moldeado de los perfiles. Luego del enfriado, se desmoldan las piezas. Los perfiles se unen entre sí utilizando una máquina termofusora para caños plásticos, para conformar la ventana (Figura 5). Con este mismo procedimiento, con distinto molde, se pueden fabricar también tablas para usar en mobiliario.

Propiedades técnicas

Ventajas: los perfiles de estas ventanas están constituidos en un 100% por residuos plásticos, sin el agregado

de resinas u otros polímeros vírgenes, a diferencia de las ventanas con perfiles plásticos existentes en el mercado, fabricados con PVC o polipropileno virgen. Se destacan sus propiedades técnicas de bajo peso, flexibilidad, impermeabilidad e imputrescibilidad (Tabla 5). Estos perfiles son simples de aplicar en la producción de ventanas, con técnicas similares a los de madera (corte en inglete, acanalado, clavado y atornillado) (GONZÁLEZ ET AL., 2023).

Actualmente se está gestionando la posibilidad de transferir esta tecnología a cooperativas locales capacitadas en la fabricación de aberturas, lo cual implica un ajuste en la maquinaria y en el proceso productivo.



Figura 5. Ventana con perfiles de plástico reciclado. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA
PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

TABLA 5 Propiedades técnicas de perfiles plásticos para aberturas

PROPIEDADES TÉCNICAS	VALOR	NORMA
Resistencia a compresión (MPa)	26,7	IRAM 1546
Resistencia a tracción (MPa)	11,3	ISO 527-1
Resistencia a flexión (MPa)	20,2	ASTM D638-14
λ Conductividad térmica (w/mK)	0,61	IRAM 11559 y ASTM C 177

Fuente: elaboración propia.

ACTIVIDADES REALIZADAS

Se seleccionaron municipios de la Provincia de Córdoba con los cuales se firmaron convenios de articulación para realizar el trabajo. Ellos fueron: Arroyito, Laborde, Las Varillas, Juárez Celman y Arias. El criterio de selección estuvo fundado en la existencia de procesos de separación diferenciada de residuos implementada desde los equipos técnicos municipales, y motivación de las autoridades municipales para crear circuitos productivos nuevos y a la vez reducir la cantidad de residuos que se acumulan en los vertederos.



Figura 6. Construcción de mobiliario urbano con materiales reciclados en Plaza de Las Varilla. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

Se relevaron los procesos de recolección, disposición y tratamiento de RSU existentes en dichos municipios para su caracterización cualitativa y cuantitativa. Se caracterizó su situación socio-habitacional y base productiva. Se elaboraron fichas e informes de diagnóstico de cada uno. Los informes incluyeron sugerencias para los municipios, de implementación de distintas tecnologías constructivas, basadas en los residuos disponibles en cada uno.

Se realizó el diseño, ensayo, ajuste técnico y producción piloto de componentes constructivos a partir del reciclado de RSU.

Se ofrecieron servicios de capacitación en desarrollos tecnológicos, acordes a los intereses y recursos disponibles en cada localidad.

Se construyeron prototipos demostrativos con componentes elaborados en el instituto en varios de los municipios, que también aportaron fondos o materiales, a saber: en el Municipio de Las Varillas se construyó el mobiliario urbano de una plaza y un “punto limpio” para recolección de residuos con paredes de ladrillos de PET reciclado, pisos con tablas de plásticos varios reciclados y ventanas de hormigón fabricadas con agregados de RAEE reciclados (Figuras 6 y 7).



Figura 7. Plaza de Las Varillas, vista de conjunto. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

En el Municipio de Juárez Celman se colocaron bancos con madera de plástico reciclado, en una plaza barrial (Figura 8).

En el Municipio de Arroyito se construyó el techo de la batería de baños y vestuarios del salón comunitario del paraje La Curva, con bloques de PET reciclado (Figura 9).



Figura 8. Banco de plástico reciclado en Plaza de Juárez Celman
Fuente: Archivo fotográfico del instituto.



Figura 9. Bloques de losa con plástico reciclado en Arroyito.
Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

En el Municipio de Laborde está en construcción el baño y el vestuario de un polideportivo municipal, con mamposterías de ladrillo de PET reciclado, mesadas de plástico reciclado y ventanas de hormigón con agregados de RAEE reciclados.

En el municipio de Juárez Celman se llegó a instalar una fábrica local para producir ladrillos de PET, que está operando actualmente. Por ser el municipio donde se pudo ejecutar íntegramente el proceso, se detallan las actividades realizadas:

1. Talleres de difusión del proyecto destinados a personal del municipio (áreas vinculadas al hábitat, ambiente, economía, producción y empleo).
2. Firma del convenio de adhesión al proyecto.
3. Capacitación en metodologías de diagnóstico, elaboración y priorización de acciones.
4. Capacitación sobre políticas locales de aprovechamiento y reciclado de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).
5. Asesoramiento para realizar una campaña para la recolección de PET.
6. Desarrollo y fabricación de insumos para campaña de recolección de residuos (logo y cestos de basura).
7. Instalación de puntos limpios para el acopio de los residuos (Figura 10).
8. Recolección y acopio de PET.
9. Adquisición de equipamiento para el procesado del PET y fabricación de ladrillos: molino triturador para botellas de PET de 20 HP de potencia y hormigonera.
10. Acondicionamiento de equipamiento para el moldeo: bloquera manual existente en el municipio. Diseño y fabricación de matriz de moldeo para adaptar a la bloquera.
11. Selección del espacio físico para construir la fábrica de ladrillos. Se arregló y amplió una construcción abandonada en el barrio Emaús.

PROPUESTA DE RECICLADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DE CÓRDOBA PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS CON FINES SOCIALES

12. Diseño del layout de la planta productora, ubicación de línea de producción, espacios de acopio de materia prima y de componentes fabricados, diseño de puestos de trabajo, etc. Acondicionamiento del lugar según el diseño realizado. Se construyó dentro del edificio una sala insonorizada para el funcionamiento del molino triturador.

13. Inauguración del Centro Innovador Productivo de Componentes Constructivos (CIPCO).

14. Selección y designación de un coordinador y cuatro operarios del ámbito local, beneficiarios directos de la transferencia de la tecnología constructiva para la fabricación de componentes de vivienda.

15. Capacitación del equipo designado en Taller de transferencia dictado en el instituto de investigación (Figura 11).

Se propuso también una articulación con la Universidad Popular para ofrecer los talleres como parte del programa de capacitación de oficios.

16. Comienzo de producción de los ladrillos, con visitas de inspección del personal técnico de la institución para asesoramiento. Actualmente están produciendo quinientos ladrillos por mes.

17. Construcción de un prototipo demostrativo: una garita para esperar el ómnibus, con ladrillos producidos en este Centro (Figura 12).

18. Realización de difusión sobre el emprendimiento, para impulsar la comercialización de los componentes, a cargo del municipio.



Figura 10. Punto Limpio de recolección de reciclables en Juárez Celman. Figura 11. Capacitación para equipo técnico de Juárez Celman. Figura 12. Garita para ómnibus en Juárez Celman, con ladrillos PET. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.



Figura 13. Centro Innovador Productivo de Componentes Constructivos (CIPCO) en Juárez Celman. Figura 14. Acopio de PET en el CIPCO. Figura 15. Prototipo construido en el CIPCO. Fuente: Archivo fotográfico del instituto.

CONCLUSIONES

El trabajo fue fructífero y alcanzó los objetivos planteados. Se centró en el desarrollo y fomento de las capacidades y condiciones locales de gestión habitacional municipal, para implementar un modelo de gestión innovador.

Este modelo combina de manera efectiva la captación y reciclado de algunos RSU disponibles en los vertederos municipales (tales como plásticos procedentes de la industria alimentaria, caucho procedente de neumáticos en desuso, residuos lignocelulósicos tales como cartón o poda de vegetación, residuos plásticos procedentes de aparatos eléctricos y electrónicos y residuos de la industria de la construcción), para su utilización en la producción de componentes de construcción, necesarios para dar respuesta a situaciones de déficit habitacional. La innovación de este modelo de gestión consiste en la aportación de herramientas locales de atención articulada de las problemáticas ambientales, habitacionales y laborales bajo un enfoque integral, multiactoral y asociativo.

Como principales resultados del trabajo se mencionan los siguientes:

Se capacitaron equipos técnicos de los municipios para la elaboración y gestión de proyectos para la producción de componentes constructivos reciclando sus residuos.

Se logró la implementación de estrategias de reciclado de residuos en los municipios de la provincia de Córdoba que adhirieron al proyecto.

Se fabricaron en el instituto de investigación, elementos constructivos con materiales reciclados, utilizando los residuos existentes en los municipios. Algunos de ellos fueron fruto de investigaciones previas, otros se desarrollaron durante el transcurso de este proyecto.

Se pudieron realizar transferencias de estos desarrollos tecnológicos en los municipios seleccionados, creando puestos de trabajo.

Como resultado final de este trabajo se buscó generar pequeños emprendimientos productivos sociales para la fabricación de componentes constructivos, originando fuentes de ingreso para habitantes de los municipios destinatarios de la propuesta. Durante la realización del proyecto se pudo concretar la instalación del Centro Innovador Productivo de Componentes Constructivos (CIPCO) en Juárez Celman y hay expectativa de generar otros emprendimientos en los municipios restantes.

Dado el éxito de la metodología propuesta, se puede avizorar la replicabilidad del modelo en otros municipios del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agopyan, V. y Savastano, H.** (1997). Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais para coberturas no Brasil. Boletín de CYTED, Proyecto XIV.3, Edit. Arte Nuevo, Asunción, Paraguay.
- Boor, B.** (2009). Composite material roofing structure. Patente europea número WO 2009152213 (A1). Fecha de publicación: 17 de diciembre de 2009.
- Brickarp** (2024). Página web de la empresa. <https://ficidet.org/proyectos>. Accedida el 18/7/2024.
- Brundtland G.** (1987). Informe Our common future. Presentado en la 42a sesión de las Naciones Unidas. URL: https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Cappelletti, A.; Peisino, L.; Gaggino, R.; Uberman, P. M.; Colman, L. & Kreiker, J.** (2021). Stabilization of leachate in aggregates made with plastic from WEEE. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, N° 37, pp. 601-609. <https://doi.org/10.20937/RICA.54011>.
- Cerimi, K.; Akkaya, K.; Pohl, C.; Schmidt, B.; Neubauer, P.** (2019). Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. Fungal biology and biotechnology. 6(1), 1-10.
- Crivelli, H.** (1993). Incorporation of rubber tire crumbs and siliceous crystalline grains in construction products. Patente EE.UU. número 5258222. Fecha de publicación: 2 de noviembre de 1993.
- Easybrick** (2024). Página web de la empresa. <https://easy-brick.com/que-es-easybrick/>. Accedida el 18/7/2024.
- Edson, G.** (2004). Replica tiles compression molded from mixture comprising ethylene-propylene-diene monomer scrap and styrene-butadiene rubber from recycled vehicle tires, elastomeric binders, fire retardant, high density polyethylene, color concentrate. Patente EE.UU. 6,703,440 B2. Fecha de publicación: 9 de marzo de 2004.
- Elsacker, E.; Vandelook, S.; Brancart, J.; Peeters, E.; de Laet, L.** (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. PLoS One. 14(7), e0213954.
- Euroshield Roofing** (2024). Página web de la empresa. <https://www.euroshieldroofing.com/> Accedido el 18/7/2024.
- Fernández, N.; Gaggino, R.; Kreiker, J. & Positieri, M. J.** (2022). Revalorización de residuos de cartón y papel para la producción de biopolímeros dentro del paradigma de economía circular con aplicación en el campo del hábitat. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research. 5 (2), pp 2362 – 2369. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv5n2-076>.
- Fiorelli, J.; Morceli J.; Vaz, R. y Dias, A.** (2009). Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol.13, Número 2, Campina Grande. Marzo / Abril.
- Gaggino, R.** (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. Revista INVI, 23(63). <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2008.62288>

- Gonzalez Laria, J.; Gaggino, R.; Kreiker, J.; Peisino, L.E.; Positieri, M.; Cappelletti, A.** (2023). Mechanical and processing properties of recycled PET and LDPE- HDPE composite material for construction components. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 36 (1), pp 418-431. <https://doi.org/10.1177/0892705720939141>.
- Grasso, A.** (17/05/2021). En el país, sólo se recicla el 6% del total de los residuos. *Diario Perfil*. URL: <https://www.perfil.com/noticias/ecologia/en-el-pais-solo-se-recicla-el-6-del-total-de-los-residuos.phtml>. Accedido el 10/04/2024.
- Kibert, C.** (1994). CIB-TG16, First International Conference on Sustainable Construction, Tampa, Florida, E.E.U.U. <https://search.worldcat.org/es/title/Sustainable-construction-:-proceedings-of-the-First-International-Conference-of-CIB-TG-16-November-6-9-1994-Tampa-Florida-U.S.A/oclc/33013532>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible** (2024). Economía circular: todo junto es basura pero separado son recursos. Página web. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/economia-circular>. Accedido el 10/04/2024.
- Nicod, G.** (1990). Paneaux isolants pour Bariloche. Un projet d'Ingenieurs du Monde". *Polyrama*. N. 87, Diciembre de 1990, Escuela Politécnica Federal de Lausana.
- Ongondo, F.; Williams, I.; Cherrett, T.** (2007). How Are WEEE Doing? A Global Review of the Management of Electrical and Electronic Wastes. *Waste Management*. 31(4):714–30. 13.
- Paria, S. and Yuet, P. K.** (2006). Characterisation of Polymer Fractions from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and Implications for Waste Management. *Chemosphere*. 67(9):1866–76. 14.
- Peisino, L. E.; Barbero-Barrera, M. M.; Barrio García-Castro, C.; Kreiker, J.; Gaggino, R.** (2024). Assessment of the mechanical and physical characteristics of PET bricks with different aggregates. *Journal of Environmental Management*, 357, 120720. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120720>.
- Sabino C.** (1996) El proceso de investigación. Libro. Editorial: Episteme. Guatemala. 239 p. ISBN: 9789929677074.
- Sulaiman, H., Paz Sánchez Amono, M., Gaggino, R., Filippin, C., & Positieri, M. J.** (2020). Análisis del desempeño higrotérmico de un prototipo con tejas de material compuesto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*. 22, pp. 61-70.
- Recypack** (2024). Página web de la empresa. <https://www.recypack.com.ar/> Accedido el 18/7/2024. T Plak Placas ecológicas. Página web de la empresa. <https://tplak.com.ar>. Accedido el 18/7/2024.
- Zhang** (2001). Plastic roof tiles. Patente Europea número WO2001CA00243 20010227. Fecha de publicación: 20 de septiembre de 2001.