

RESTBUILT



Proyecto de investigación del reciclaje del colchón fuera de uso para materiales de construcción.

RECICLAJE DE COLCHONES PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN: ESTADO DEL ARTE Y PERSPECTIVAS





Ayuntamiento de Valladolid



RESTBUILT
DOCUMENTO DE INVESTIGACIÓN INICIAL.

0. RESTBUILT.

1. LA FABRICACIÓN DE COLCHONES

1.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN

1.2 EL COLCHÓN HOY EN DÍA

1.3 COLCHONES DE MUELLES

- 1.3.1. Colchón de muelle Bonnell
- 1.3.2. Colchón de muelle de hilo continuo
- 1.3.3. Colchón de muelle ensacado
- 1.3.4. Colchón de micromuelles

1.4 COLCHONES DE ESPUMA

- 1.4.1. Espuma de poliuretano convencional
- 1.4.2. Espuma de alta densidad (HR-High Resilience)
- 1.4.3. Espuma viscoelástica
- 1.4.5. Espuma de látex
- 1.4.6. Espuma de gel

1.5 COLCHONES HÍBRIDOS

1.6 COLCHONES DE AIRE

1.7 COLCHONES DE AGUA

1.8 MERCADO ACTUAL Y TENDENCIA DE FUTURO

2. EL COLCHÓN COMO RESIDUO

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL COLCHÓN

2.2 IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL CV DEL COLCHÓN

2.3 COSTE ECONÓMICO DE LA GESTIÓN DEL COLCHÓN COMO RESIDUO

2.4 PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA DE RECICLAJE

2.5 VALLADOLID CASO DE ESTUDIO

3. EL RECICLAJE DE COLCHONES.

3.1 EE. UU.: EL MATTRESS RECYCLING COUNCIL

- 3.1.1. Estudio sobre el potencial energético de la pelusa
- 3.1.2. Estudio sobre el uso de fibras para drenaje pluvial.
- 3.1.3. Prototipo de separación de bobinas
- 3.1.4. Transformaciones químicas de la espuma poliuretano
- 3.1.5. Reciclaje de textiles de colchones.
- 3.1.6. Uso de textiles de colchones en baterías
- 3.1.7. Reciclaje de algodón y fibra de coco como abono
- 3.1.8. la vitrimerización de la espuma de poliuretanos
- 3.1.9. Utilización de espuma de PU para limpiar derrames de petróleo.

3.2 FRANCIA: RENUVA

3.3 FRANCIA: RECYC-MATELAS EUROPE

3.4 PAÍSES BAJOS: RETOURMATRAS PLANT

- 3.5 ALEMANIA: BASF y NEVEÓN**
- 3.6 UK: JBS FIBRE RECOVERY**
- 3.7 UK: FURNITURE RECYCLING GROUP**
- 3.8 ESPAÑA: RECYPUR Y RECIMATT**
- 3.9 ESPAÑA: SMV SERVICIOS MEDIAMBIENTALES DE VALENCIA**
- 3.10 ESPAÑA: COMSERMANCHA**
- 3.11 ESPAÑA: RECICOLCHÓN**
- 3.12 ESPAÑA: RECPUR PUERTOLLANO (Repsol)**
- 3.13 ESPAÑA: ACTECO ALCORCÓN**

4. RECICLAJE DE COLCHONES EN PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCION

- 4.1 UTILIZACIÓN DE POLIOLES RECICLADOS EN LA FABRICACIÓN DE NUEVAS ESPUMAS**
- 4.3 REUTILIZACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO COMO MATERIAL AISLANTE**
- 4.4 VALORIZACIÓN DE COLCHONES RECICLADOS PARA AISLAMIENTOS**
- 4.5 EE.UU.: PROYECTOS DEL MRC**
 - 4.5.1. Hormigones con PU reciclados de colchones
 - 4.5.2. Composites con PU reciclados de colchones
- 4.6 ESPAÑA: PROYECTO ORACLE**

5. AVANCE DE ESTRATEGÍA DE PROYECTO

- 5.1 PROTOTIPO DE PRELOSA ALIGERADA**
- 5.2 PROTOTIPO DE PANEL ARQUITECTÓNICO ALIGERADO DE HORMIGÓN CON AISLAMIENTO**
- 5.3 ESTUDIO DEL COLCHÓN COMO POSIBLE COMBUSTIBLE DERIVADO DE RESIDUOS**

O.RESTBUILT

En el contexto actual de transición hacia un modelo de desarrollo más sostenible, la economía circular se configura como un eje estratégico para transformar los modos de producción y consumo. En este marco, el sector de la construcción, históricamente intensivo en el uso de recursos y generador de grandes volúmenes de residuos, representa uno de los ámbitos prioritarios para la implementación de soluciones innovadoras orientadas a la reducción del impacto ambiental y al aprovechamiento de materiales recuperados.

Entre los residuos urbanos de mayor complejidad en su gestión se encuentran los colchones fuera de uso, productos voluminosos compuestos por múltiples materiales ensamblados que, debido a su dificultad de desmontaje y valorización, acaban mayoritariamente en vertederos. Esta situación supone un reto tanto ambiental como logístico, y pone de manifiesto la necesidad de repensar su ciclo de vida desde una perspectiva circular.

El proyecto que aquí se presenta tiene como objetivo general explorar el potencial del colchón como recurso para la industria de la construcción, planteando su reaprovechamiento como material constructivo alternativo. Esta línea de trabajo se inscribe dentro del proyecto europeo *Circular Ecosystems*, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del programa Interreg España-Portugal (POCTEP), y se desarrolla en colaboración entre el Ayuntamiento de Valladolid y la Universidad de Valladolid.

Desde una perspectiva experimental y aplicada, el proyecto investiga la viabilidad técnica, económica y ambiental de integrar componentes del colchón en sistemas constructivos prefabricados. Esta iniciativa pretende no solo reducir la presión sobre los sistemas de gestión de residuos urbanos, sino también fomentar nuevos modelos productivos basados en la reutilización, la innovación tecnológica y el aprovechamiento de recursos locales.

A través del trabajo conjunto entre instituciones públicas, universidades y agentes del sector, se busca contribuir a la generación de soluciones replicables y escalables que impulsen la transición hacia una construcción más sostenible, resiliente y circular.





Ayuntamiento de Valladolid



1. LA FABRICACIÓN DE COLCHONES

1.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

El descanso es un **proceso biológico** fundamental para la homeostasis y el bienestar del ser humano. Desde una perspectiva fisiológica, el sueño desempeña un papel esencial en la recuperación del organismo, la consolidación de la memoria y la regulación de funciones metabólicas y hormonales. Dormir no es únicamente una necesidad, sino un estado fisiológico complejo que implica ciclos de actividad neuronal y corporal, regulados por el sistema nervioso central y modulados por factores ambientales y comportamentales.

El sueño es una función vital que garantiza el mantenimiento del equilibrio homeostático. Se estructura en diferentes fases, desde el sueño ligero hasta el sueño profundo y la fase de movimientos oculares rápidos (REM), cada una con un rol específico en la recuperación física y cognitiva. Durante la fase de sueño profundo, se produce la regeneración celular, la reparación de tejidos y la liberación de hormonas anabólicas, como la hormona del crecimiento. En la fase REM, se consolidan los procesos de aprendizaje y memoria, así como la regulación emocional.

Más allá de la duración y calidad del sueño, la **postura** adoptada durante el descanso es un factor determinante para garantizar su efectividad. La necesidad de tumbarse de un modo confortable responde a principios biomecánicos que favorecen la relajación muscular, la alineación de la columna vertebral y la distribución uniforme del peso corporal. Una postura inadecuada puede generar puntos de presión excesivos en determinadas zonas del cuerpo, lo que puede derivar en molestias musculoesqueléticas y alteraciones en la calidad del sueño. (Radwan et al., 2015)

Para optimizar las condiciones del descanso, es fundamental contar con una superficie de **apoyo** que se adapte a la morfología corporal, proporcionando un balance entre firmeza y adaptabilidad. Los colchones y almohadas contribuyen a mantener una postura neutra, reduciendo la tensión en la zona lumbar y cervical. Asimismo, los materiales utilizados en la ropa de cama desempeñan un papel relevante en la termorregulación, evitando acumulaciones de calor o frío que puedan interrumpir los ciclos del sueño. (Okamoto-Mizuno & Mizuno, 2012)

El descanso ha sido, y seguirá siendo, un pilar fundamental en el desarrollo y bienestar de la especie humana. Su impacto no solo se manifiesta en la salud y el equilibrio fisiológico, sino que guarda una estrecha relación con la productividad, la capacidad cognitiva y el desempeño de las actividades diarias. La importancia del reposo ha sido reconocida desde los primeros momentos de la evolución humana, convirtiéndose en un factor clave para la supervivencia y el progreso de las sociedades.

Desde tiempos prehistóricos, los seres humanos han buscado optimizar sus condiciones de descanso, recurriendo a los materiales disponibles en su entorno. Los primeros grupos nómadas y sedentarios utilizaban hojas, pieles de animales y otros recursos naturales con el propósito de crear superficies más confortables y, al mismo tiempo, minimizar los riesgos asociados a dormir directamente sobre el suelo. Entre estos riesgos se encontraban no solo la humedad y las bajas temperaturas, que podían comprometer su salud y bienestar, sino también la exposición a depredadores y parásitos.

Este proceso de adaptación y búsqueda de mejoras en la calidad del descanso no solo respondía a necesidades fisiológicas, sino que también marcó el inicio de la evolución de los sistemas de descanso y la concepción de mobiliario destinado al sueño. Con el paso del tiempo, la innovación en los materiales y el diseño de las superficies de reposo ha permitido una evolución significativa, reflejando la estrecha conexión entre la cultura, la tecnología y las necesidades humanas en torno al descanso. (Eliav, 2018)

En el antiguo Egipto, el sistema de descanso experimentó una notable evolución con la creación de una estructura específica diseñada para proporcionar soporte y confort durante el sueño. Este sistema se fundamentaba en el uso de un bastidor alargado y rectangular, construido en madera o metal, que servía como base para la cama. La estructura estaba adherida a una cabecera, en la cual se integraba un soporte arqueado destinado a sostener la cabeza del durmiente. Este elemento no solo facilitaba una posición ergonómicamente adecuada, sino que también contribuía a la alineación óptima de la columna vertebral a lo largo del descanso nocturno.

Para incrementar el confort, sobre esta base se añadía una capa de materiales blandos, comúnmente compuesta de lana o paja, que posteriormente era recubierta con telas de textura aterciopelada y altamente transpirables, lo que permitía un mejor control térmico en el clima egipcio. Más allá de su funcionalidad, este sistema de descanso adquirió un significado simbólico y social, convirtiéndose en un indicador de estatus y poder. Su uso estaba reservado exclusivamente para el faraón y, en algunos casos, para miembros de la élite, mientras que el resto de la población carecía de acceso a tales comodidades y debía conformarse con dormir en superficies más rudimentarias o en el suelo. De este modo, la cama no solo cumplía una función práctica, sino que también reflejaba la jerarquización de la sociedad egipcia, estableciendo una diferenciación clara entre los estratos sociales a través del mobiliario y las condiciones de descanso. (Ikram, 1997).



FIG. 01: LAS CAMAS GRIEGAS Y ROMANAS ERAN MULTIFUNCIONALES, SERVÍAN PARA DORMIR Y COMER <https://www.semana.com/cual-es-la-historia-entre-la-cama-y-el-descanso/274882/>

La civilización griega desempeñó un papel fundamental en la evolución del mobiliario destinado al descanso, introduciendo **innovaciones** que sentaron las bases de los colchones modernos. A diferencia de las culturas previas, donde el descanso solía realizarse sobre superficies rígidas o ligeramente acolchadas, los griegos desarrollaron un sistema más sofisticado para garantizar una mayor comodidad durante el sueño. (Nevett, 1999; Dunbabin, 1991).

El concepto de colchón en la antigua Grecia se basaba en la confección de superficies blandas mediante el uso de **materiales de relleno** como paja, lana o plumas. Estos elementos eran introducidos dentro de sacos de tela, lo que permitía una mejor distribución del peso y una mayor adaptabilidad a la morfología del cuerpo humano. Esta innovación representó un avance significativo con respecto a los sistemas anteriores, en los que predominaban estructuras rígidas de madera o piedra recubiertas con mantas o pieles.

Además del confort físico, el colchón en la sociedad griega adquirió una dimensión **simbólica**, al estar asociado con el bienestar y el estatus social. Las clases aristocráticas disponían de lechos más elaborados, en los que se empleaban tejidos de alta calidad y rellenos más sofisticados, mientras que las clases populares utilizaban versiones más sencillas y con materiales menos refinados. (Fig. 01)

Este sistema de descanso, desarrollado por los griegos, sentó las bases para la evolución del colchón a lo largo de la historia, influyendo posteriormente en la cultura romana y, por ende, en la concepción del mobiliario de descanso en civilizaciones posteriores. (Strong & Brown, 1976) La incorporación de rellenos blandos dentro de una estructura textil marcó un punto de inflexión en la búsqueda del confort y la ergonomía en el ámbito del descanso, estableciendo un precedente en la evolución del diseño del mobiliario para el sueño.



FIG 02: FABRICACIÓN EN CADENA DE COLCHONES <https://www.brickellmattress.com/mattress-blog/evolution-luxury-mattress/>

La evolución de los materiales utilizados en la fabricación de colchones ha estado marcada por el progreso tecnológico y las necesidades cambiantes de la sociedad. Con la **Revolución Industrial** y la mecanización de la producción, se consolidaron avances que permitieron la transición de los rudimentarios sistemas de descanso hacia estructuras más sofisticadas (Mendelson, 1997). Uno de los hitos más relevantes en esta transformación fue la invención del sistema de muelles Bonnel por el berlinés Heinrich Westphal en 1875. Este mecanismo, basado en la incorporación de alambres metálicos inspirados en los sistemas de amortiguación utilizados en los asientos de los carruajes de caballos, dotó al colchón de una identidad industrial y permitió su producción a gran escala. (Fig. 02)

El diseño original de los colchones de muelles consistía en un bloque de resortes recubierto por una tela envolvente, lo que proporcionaba una mayor **resistencia** y una experiencia de descanso más uniforme en comparación con los materiales empleados hasta ese momento. Gracias a estas características, los colchones de muelles se convirtieron en la opción predominante en el mercado, manteniendo su liderazgo hasta la década de 1920. Sin embargo, a pesar de su popularidad, estos colchones presentaban una limitación significativa: la transferencia de movimiento debido a la interconexión de los resortes. Esta desventaja era particularmente problemática para las parejas, lo que llevó al ingeniero James Marshall a desarrollar una alternativa más eficiente. En 1899, Marshall diseñó los primeros resortes embolsados o muelles ensacados, cuya característica distintiva era la independencia de cada resorte dentro de una envoltura textil, eliminando así la transferencia de movimiento (Marshall, 1900; Rinzler, 2013). Patentado en 1900, este sistema marcó un nuevo estándar en la fabricación de colchones, permitiendo una experiencia de descanso más personalizada y ergonómica. (Fig. 03)



FIG 03: PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN COLCHÓN <https://www.sleepwellmagazine.com/our-story-is-quite-old-indeed/>

El siglo XX trajo consigo avances significativos en la diversificación de los materiales empleados en la industria del colchón. En la década de 1920, la investigación en torno al **caucho** natural condujo a la obtención de un material con propiedades excepcionalmente elásticas y resistentes: la esponja de látex. A través de un proceso químico que combinaba la leche de caucho con compuestos no tóxicos, se logró desarrollar un material con una alta capacidad de adaptación y transpirabilidad. La primera producción comercial de colchones de látex fue realizada por la empresa Dunlop, cuyo nombre quedó asociado a este innovador material.

En 1931, el uso del **látex** en la fabricación de colchones se consolidó gracias a su durabilidad, elasticidad y capacidad para mantener una temperatura estable durante el descanso. Su popularidad se extendió rápidamente, convirtiéndose en una opción preferida en el sector hotelero de lujo. Con el tiempo, la industria del colchón desarrolló diferentes variantes de látex, tales como el látex natural, el sintético, el mezclado y el SBR (estireno-butadieno), cuyo rendimiento y calidad dependían de la proporción de leche de caucho utilizada en su composición. Actualmente, la producción de esponja de látex natural con tecnología avanzada mantiene un contenido de leche de caucho cercano al 97 %, lo que le otorga propiedades óptimas para el descanso. (Gupta & Kumar, 2010) (Fig. 04)

El siguiente avance importante en la industria de los colchones se produjo en la década de 1940 con el auge de la **espuma de poliuretano**. Este material, derivado de compuestos petroquímicos, ofrecía una alternativa más económica y versátil en comparación con el látex. Su facilidad de producción y adaptabilidad permitieron su integración en una amplia variedad de aplicaciones, desde colchones sin muelles hasta capas de soporte en sistemas híbridos de descanso. A lo largo del tiempo, la espuma de poliuretano se consolidó como la opción más utilizada en la industria del colchón debido a su bajo costo de producción y sus propiedades de confort.



FIG 04: FABRICACIÓN ALMOHADAS DE LÁTEX DUNLUP <https://www.stalam.com/es/proceso-dunlop-eficiencia-calidad-fabricacion-espuma-latex/>

Durante la década de 1960, en plena era de exploración espacial, la NASA emprendió investigaciones orientadas a reducir la presión ejercida sobre los astronautas durante el lanzamiento de los transbordadores espaciales. En 1966, estos estudios dieron lugar al desarrollo de la esponja **viscoelástica**, un material con una estructura molecular capaz de absorber y distribuir la presión de manera uniforme. A diferencia de otros materiales de soporte, el viscoelástico respondía a la temperatura corporal y se adaptaba de manera progresiva al contorno del cuerpo, lo que lo convertía en un material revolucionario para el descanso.

Si bien su aplicación inicial estuvo restringida al ámbito aeroespacial y hospitalario, en la década de 1980 se empezaron a reconocer sus beneficios en el sector de la salud, especialmente en la prevención de úlceras por presión en pacientes inmovilizados. Esto incentivó su incorporación en la industria del colchón, donde comenzó a utilizarse masivamente en la década de 1990. Su capacidad para reducir los puntos de presión y mejorar la alineación corporal lo convirtió en una opción ideal para personas con problemas musculoesqueléticos. Comercialmente, este material se popularizó bajo el nombre de Memory Foam¹ debido a su capacidad de recuperar su forma original tras la deformación. Actualmente, su uso no se limita exclusivamente a colchones y almohadas, sino que se ha extendido a otros sectores como la fabricación de calzado y accesorios ergonómicos.

En la actualidad, los cinco materiales fundamentales utilizados en la fabricación de colchones han evolucionado significativamente desde su invención. El sistema de muelles Bonnel, con más de un siglo de existencia, ha experimentado múltiples mejoras, con variantes que optimizan su resistencia y adaptabilidad. Aunque los muelles ensacados ya no se apilan de forma individual, la ingeniería moderna ha permitido su personalización mediante combinaciones de diferentes grosores de alambre en una misma estructura, mejorando así el soporte localizado. (Fig. 05)

El látex, por su parte, continúa siendo un referente en la industria debido a su carácter natural y sostenible. Su capacidad para proporcionar un descanso fresco y saludable lo mantiene como una de las opciones más valoradas en el mercado. Por otro lado, la espuma viscoelástica sigue siendo objeto de innovación, con estudios enfocados en la **mejora de sus propiedades** mediante infusiones de gel y otras tecnologías destinadas a regular la temperatura durante el sueño.

A medida que avanza la industria del colchón, el desafío radica en desarrollar nuevos materiales que no solo optimicen la calidad del descanso, sino que también respondan a criterios de sostenibilidad y eficiencia energética. La historia de la evolución del colchón, que se remonta a más de 77.000 años, sigue siendo un testimonio del ingenio humano en la búsqueda de un descanso más saludable y ergonómico.

¹ Espuma viscoelástica de poliuretano que se adapta al cuerpo con el calor y la presión, recuperando lentamente su forma original.



FIG.05: RESORTERA QUE SE ENCARGA DE FABRICAR LOS MUELLES <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/sabes-como-se-hacen-los-colchones-nid1985169/>

CONCLUSIÓN

El descanso, como necesidad biológica fundamental, ha sido históricamente una preocupación constante del ser humano. A lo largo de los siglos, la evolución de los sistemas de descanso y, en particular, del colchón, ha respondido no solo a criterios fisiológicos, sino también a factores culturales, tecnológicos y sociales. Desde los primeros intentos de crear superficies confortables en la prehistoria hasta las innovaciones impulsadas por la Revolución Industrial y los avances de la ciencia contemporánea, el colchón ha experimentado una transformación profunda que refleja el progreso de la humanidad en la búsqueda de salud, comodidad y calidad de vida.

Cada innovación —desde los sistemas de muelles Bonnell y ensacados, hasta los materiales como el látex, el poliuretano o la viscoelástica— ha supuesto un avance en la mejora de la ergonomía, la adaptabilidad y el soporte corporal, adecuándose a los requerimientos de diferentes contextos históricos. Además, el descanso ha adquirido connotaciones simbólicas y de estatus en muchas culturas, consolidándose como un elemento clave del mobiliario doméstico y un indicador de bienestar.

En el contexto actual, donde la sostenibilidad se impone como valor transversal, la industria del colchón enfrenta el reto de diseñar productos que no solo optimicen la experiencia del sueño, sino que además reduzcan el impacto ambiental y fomenten el reciclaje y la reutilización de materiales. Esta visión integradora, que une tradición, innovación y responsabilidad ecológica, marca el camino hacia un modelo de descanso que no solo atienda al individuo, sino también al planeta. En definitiva, la evolución del colchón es testimonio del ingenio humano y su constante aspiración por vivir y descansar mejor.

1.2. EL COLCHÓN HOY EN DÍA

El diseño y la fabricación de colchones han evolucionado significativamente en respuesta a los avances tecnológicos y a las necesidades ergonómicas del usuario. A lo largo de la historia, dos tipologías principales han predominado en el mercado y en la investigación sobre el confort y el soporte del descanso: los colchones de **muelles** y los colchones de **espumas**. Estas dos categorías se diferencian no solo en su composición interna, sino también en sus propiedades mecánicas, su durabilidad y su impacto en la calidad del sueño.

Los colchones de muelles constituyen una de las soluciones más tradicionales en la industria, caracterizándose por la incorporación de un sistema de resortes metálicos que proporcionan soporte estructural y facilitan la transpirabilidad del material. Dependiendo de su configuración –ya sea muelles Bonell, ensacados o de hilo continuo–, estos colchones pueden ofrecer diferentes niveles de adaptabilidad y firmeza.

Por otro lado, el desarrollo de los colchones de espumas ha supuesto una transformación en el sector, especialmente con la incorporación de materiales innovadores como la espuma de poliuretano y la viscoelástica. Estos colchones, diseñados para distribuir de manera uniforme la presión del cuerpo, han sido ampliamente estudiados por sus beneficios en términos de ergonomía y reducción de puntos de presión. Asimismo, su capacidad de personalización ha permitido el desarrollo de productos con diferentes densidades y niveles de soporte, adecuados para una amplia variedad de usuarios.

El análisis comparativo de ambas tipologías no solo permite comprender sus diferencias en términos de funcionalidad y confort, sino también evaluar su impacto ambiental y su potencial para la reutilización y el reciclaje en la industria de la construcción y otros sectores. A continuación, se abordará en profundidad cada una de estas categorías, explorando sus características, ventajas y limitaciones.

1.3. COLCHONES DE MUELLES

Los colchones de muelles han sido durante muchas décadas la opción más **popular** en el mundo del descanso. La presencia de una estructura metálica constituida a base de resortes en su interior aporta firmeza, soporte y elasticidad. Esta tipología de colchón ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, añadiendo nuevas tecnologías que proporcionen una mayor durabilidad, resistencia y comodidad. (Fig. 06)

Una de las características destacables de los colchones de muelles, es su gran capacidad de **ventilación**, ya que permiten la circulación de aire entre sus resortes, lo que los hace una opción perfecta para climas cálidos o para personas que tiendan a sudar por la noche. (Hansen et al., 2001; Togawa et al., 2014) Sin embargo, no todos los colchones de muelles son iguales:

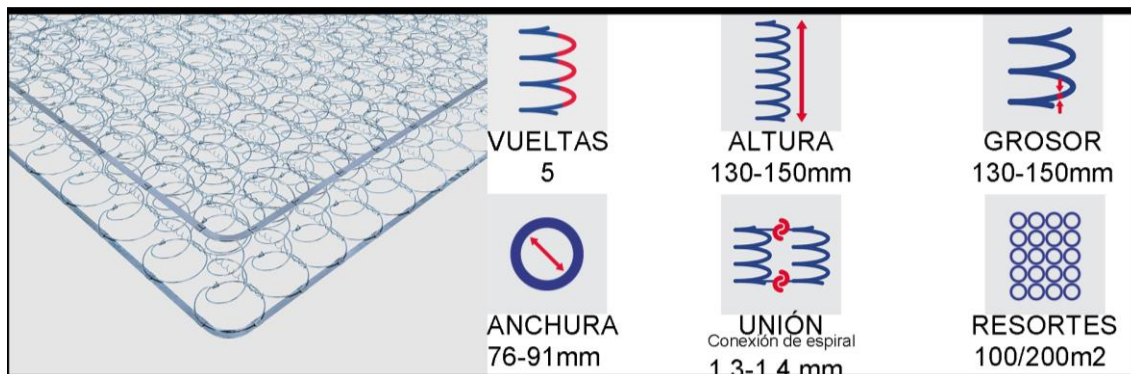


FIG.06: ESTRUCTURA INTERIOR DE MUELLES <https://www.colchonexpres.com/blog/colchon-de-muelles>

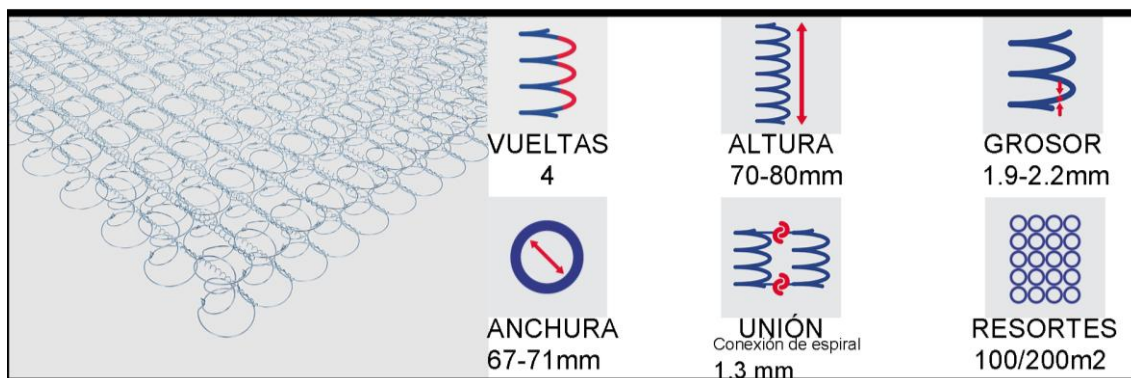
1.3.1. COLCHÓN DE MUELLE BONNELL

Los colchones de muelles Bonnell, también conocidos como muelles bicónicos, representan una de las configuraciones más tradicionales en la industria del descanso. Su diseño se caracteriza por muelles con forma de reloj de arena, es decir, más estrechos en el centro y más anchos en los extremos. Estos muelles están fabricados en acero y se conectan entre sí mediante hilos metálicos, formando una **estructura interna** que proporciona soporte y firmeza al colchón. Los muelles Bonnell se clasifican en varias categorías según sus dimensiones y características específicas:

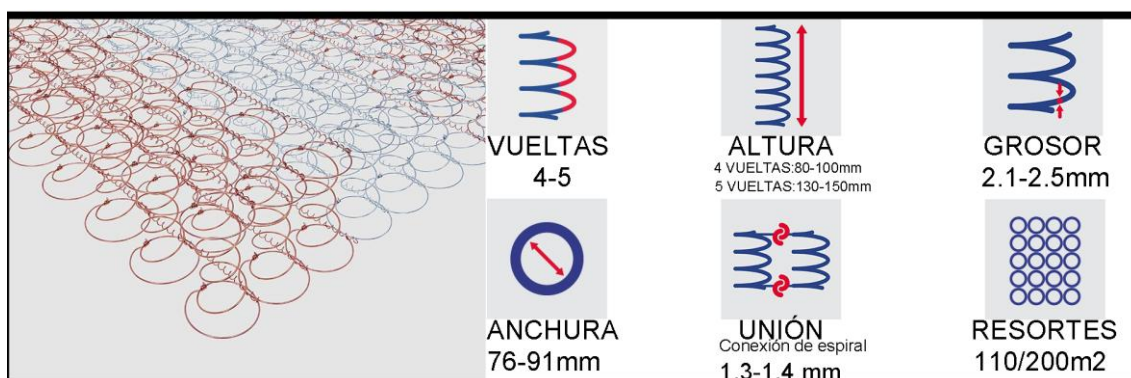
A.BON Classic: Esta es la versión estándar de los muelles Bonnell, diseñada para aplicaciones generales en colchones. Estos muelles suelen tener entre 4 y 6 vueltas, con una altura que oscila entre 130 y 150 mm. El calibre del alambre utilizado varía entre 2,1 mm y 2,5 mm, y el diámetro de los muelles se encuentra entre 76 y 91 mm. La densidad de muelles en esta configuración puede variar entre 100 y 200 muelles por metro cuadrado.



A.BON Mini: Diseñados para aplicaciones que requieren una altura reducida, como colchones para cunas o muebles tapizados, estos muelles tienen 4 vueltas y una altura que varía entre 70 y 80 mm. El calibre del alambre es de 1,9 mm o 2,2 mm, con un diámetro de muelle entre 67 y 71 mm. La densidad de muelles también oscila entre 100 y 200 muelles por metro cuadrado.



A.BON Special: Esta categoría incorpora características adicionales, como una zonificación ergonómica para mejorar el confort del usuario. Los muelles pueden tener 4 o 5 vueltas, con alturas que van desde 80 hasta 150 mm, dependiendo del modelo. El calibre del alambre varía entre 2,1 mm y 2,5 mm, y el diámetro de los muelles se encuentra entre 76 y 91 mm. La densidad de muelles en esta configuración puede variar entre 110 y 200 muelles por metro cuadrado.



La elección del calibre del alambre y el número de vueltas en los muelles Bonnell influye directamente en la firmeza y durabilidad del colchón. Por ejemplo, un alambre de mayor grosor (2,5 mm) proporcionará una mayor firmeza y resistencia, mientras que un alambre más delgado (2,1 mm) ofrecerá una sensación más suave. Asimismo, un mayor número de vueltas en el muelle puede contribuir a una mejor adaptabilidad al cuerpo del usuario (European Bedding Industries' Association, EBIA, 2017). A continuación, se presentan algunos ejemplos de colchones que incorporan muelles Bonnell en su núcleo:

Es importante destacar que, aunque los colchones de muelles Bonnell ofrecen ventajas como una buena ventilación y resistencia, presentan ciertas limitaciones, como una menor independencia de lechos, lo que puede provocar la transmisión de movimientos a lo largo de la estructura. Además, con el tiempo, pueden perder parte de su capacidad portante, afectando la calidad del descanso.

1.3.2. COLCHÓN DE MUELLE DE HILO CONTINUO

El sistema de muelle de hilo continuo representa una **evolución** en la tecnología de colchones de muelles, optimizando la **estabilidad y durabilidad** del soporte. A diferencia de los sistemas de muelles tradicionales, esta tipología se fabrica a partir de un único hilo de acero que se dobla y entrelaza para conformar una estructura continua de resortes interconectados (EBIA, 2017). Este diseño permite una distribución homogénea del peso, minimizando los puntos de presión y reduciendo el desgaste individual de los muelles. Sus principales características técnicas son:



FIG.07: COLCHÓN DE MUELLE CONTÍNUO <https://alsobre.com/tipos-de-muelles-de-colchones/>

Una de las principales ventajas del muelle de hilo continuo radica en su **estructura uniforme** y resistente. Este tipo de muelle se fabrica a partir de un único hilo de acero, sin uniones ni cortes entre los resortes, lo que proporciona una notable estabilidad estructural al colchón. La disposición en espiral o en zigzag de los muelles permite distribuir la carga de manera equitativa por toda la superficie, evitando la aparición de deformaciones localizadas y prolongando la vida útil del material. Esta característica resulta fundamental para mantener las propiedades portantes del colchón a lo largo del tiempo, especialmente en usos prolongados o exigentes. (ISO 23769:2021)

A diferencia de los tradicionales muelles Bonnell, donde el movimiento generado en un punto del colchón se transmite fácilmente al resto de la superficie, los sistemas de hilo continuo pueden configurarse para mejorar la independencia de lechos. Algunas disposiciones permiten minimizar la transferencia de movimientos, algo especialmente valorado en colchones diseñados para parejas, ya que proporciona un descanso más estable y sin interrupciones.

Además, la **durabilidad** es una cualidad destacada de esta tecnología. Al estar fabricado en una sola pieza de hilo de acero, el sistema ofrece una mayor resistencia frente a la fatiga del material. La ausencia de conexiones entre resortes individuales evita que ciertas zonas del colchón se debiliten antes que otras, manteniendo la firmeza y el confort de forma uniforme durante más tiempo. Este tipo de muelle también resiste mejor la deformación progresiva, un problema común en estructuras con uniones mecánicas.

Algunos modelos más avanzados incorporan sistemas de zonificación que ajustan la densidad y la distribución de los muelles en distintas áreas del colchón, adaptándose así a la presión específica ejercida por el cuerpo. Esta zonificación ergonómica permite un soporte más adecuado en zonas como los hombros, la zona lumbar o las piernas, favoreciendo una postura corporal correcta durante el descanso y mejorando el confort general del usuario.

En cuanto a la innovación tecnológica, destacan algunas patentes desarrolladas por empresas líderes del sector. El sistema **Multielástico® de Flex**, por ejemplo, dispone los muelles de forma transversal para proporcionar un soporte progresivo: cuanto mayor es la presión, mayor resistencia ofrece la estructura. Este diseño favorece una adaptación dinámica a la morfología del usuario y es reconocido por su alta capacidad de recuperación y resistencia a la deformación.

Por otro lado, el sistema **Normablock® de Pikolin** representa otra solución destacada. Se basa en una distribución de muelles en bloques longitudinales, reforzando especialmente la zona lumbar y optimizando la independencia de lechos. Al eliminar los espacios vacíos entre los muelles, se incrementa la estabilidad general del colchón y se evita el hundimiento en las áreas sometidas a mayor presión.

Ambos sistemas constituyen avances significativos en el diseño de colchones con muelle de hilo continuo, contribuyendo a mejorar su rendimiento, durabilidad y confort, y posicionándose como tecnologías de referencia en el sector del descanso.

Comparación con otros sistemas de muelles

Característica	Muelle Bonnell	Muelle de Hilo Continuo	Muelle Ensacado
Independencia de lechos	Baja	Media	Alta
Durabilidad	Media	Alta	Alta
Soporte ergonómico	Medio	Alto (con zonificación)	Muy alto
Ventilación	Alta	Media-Alta	Media
Costo	Bajo	Medio	Alto

El sistema de muelles de hilo continuo se posiciona como una solución intermedia entre los muelles Bonnell y los muelles ensacados, ofreciendo una combinación equilibrada de resistencia, confort y durabilidad.

Los colchones de muelle de hilo continuo constituyen una de las tecnologías más avanzadas en el sector del descanso, combinando estabilidad estructural, **resistencia a la deformación** y adaptabilidad ergonómica. Su evolución a través de patentes como Multielástico® y Normablock® demuestra la versatilidad de esta tipología para responder a distintas necesidades de confort y soporte. Gracias a su estructura optimizada, estos colchones continúan siendo una opción preferida tanto en el ámbito doméstico como en el sector hotelero e institucional.

1.3.3. COLCHÓN DE MUELLE ENSACADO

Los colchones de muelles ensacados, también conocidos como muelles embolsados, representan una evolución significativa respecto a los sistemas de muelles Bonnell y de hilo continuo. En este sistema, cada muelle se encapsula **individualmente** dentro de una bolsa de tela, lo que permite su movimiento independiente y mejora considerablemente la adaptabilidad y la independencia de lechos. Esta innovación ha permitido que los colchones de muelles ensacados se consoliden como una de las opciones más ergonómicas y confortables en el mercado del descanso.

A diferencia de los sistemas de muelles tradicionales, donde los resortes están interconectados mediante varillas metálicas o un único hilo continuo de acero, en los muelles ensacados cada resorte actúa de manera autónoma. Esto significa que la presión ejercida en un punto no afecta al resto de la superficie del colchón, ofreciendo así una distribución más homogénea del peso y evitando la transmisión de movimientos.

Los muelles ensacados están fabricados en acero de alta resistencia y su calibre varía según el nivel de firmeza y confort deseado. La densidad de muelles en estos colchones puede oscilar entre 220 y 1000 muelles por metro cuadrado, dependiendo del modelo y del fabricante. Cuanto mayor sea la densidad de muelles, mayor será la capacidad del colchón para adaptarse al cuerpo y distribuir la presión de manera uniforme.

En términos de zonificación, muchos modelos incorporan diferentes grosores de alambre o variaciones en la densidad de los muelles en distintas áreas del colchón. Esto permite reforzar zonas de mayor presión, como la región lumbar, y proporcionar una mayor suavidad en áreas como los hombros y las extremidades inferiores. El proceso de fabricación de los muelles ensacados es más complejo que el de los sistemas tradicionales, ya que implica varias fases para garantizar la independencia de cada resorte y la durabilidad del conjunto:



FIG. 09: MUELLE ENSACADO <https://www.colchones.es/informacion/diferencia-entre-colchones-de-muelles-y-de-muelles-ensacados/>

La **formación del muelle** es el primer paso en la fabricación de los colchones de muelles ensacados. Para ello, se utiliza alambre de acero templado, un material que combina resistencia y elasticidad. Este alambre se enrolla en espiral para conformar la estructura helicoidal característica de los resortes. El grosor del alambre puede variar entre 1,2 mm y 2,2 mm, en función del nivel de firmeza que se desee obtener. A mayor grosor, mayor firmeza y capacidad portante tendrá el muelle, lo que influye directamente en el comportamiento final del colchón. (Harwood, 2002)

Una vez formados, los muelles pasan al proceso de **encapsulado individual**. Cada resorte se introduce en una bolsa de tela transpirable, generalmente elaborada con polipropileno no tejido. Este encapsulado permite que los muelles actúen de manera independiente, adaptándose de forma precisa a los movimientos y presiones del cuerpo. Además, al evitar el contacto directo entre los muelles, se reducen considerablemente el ruido y la fricción durante el uso, lo que mejora la calidad del descanso y alarga la vida útil del producto. (Fig. 10)

El siguiente paso es el **ensamblaje de la estructura**. Las filas de muelles ensacados se alinean y se fijan entre sí mediante puntos de unión localizados en las propias bolsas de tela. Este sistema de fijación mantiene la estabilidad del conjunto sin interferir con la independencia de movimiento de cada resorte. En algunos modelos avanzados, se incorporan muelles de mayor calibre o se ajusta la distribución de los mismos en zonas concretas, como la región lumbar o los bordes del colchón, con el objetivo de reforzar aquellas áreas que requieren un soporte adicional.



FIG. 10: INTRODUCCIÓN DE LOS MUELLES EN LOS SACOS <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/sabes-como-se-hacen-los-colchones-nid1985169/>

Por último, se lleva a cabo la **incorporación de las capas de confort**, que se colocan sobre la estructura de muelles para proporcionar una experiencia de descanso más suave y adaptable. Estas capas pueden estar compuestas por distintos materiales, como espumas de poliuretano, látex natural o sintético, o espuma viscoelástica. Cada uno de estos materiales aporta propiedades específicas al colchón, como adaptabilidad, regulación térmica o capacidad de alivio de presión. La combinación adecuada de estas capas permite configurar colchones con distintos niveles de firmeza y confort, adaptándose así a las preferencias y necesidades de diferentes tipos de usuarios. (Gupta & Kumar, 2010)

Los colchones de muelles ensacados presentan una serie de **ventajas significativas** en términos de confort, adaptabilidad y durabilidad, lo que ha llevado a su consolidación como una de las opciones más avanzadas en el sector del descanso. Una de sus principales características es la independencia de lechos, resultado del encapsulado individual de cada muelle en una bolsa de tela. Este diseño permite que cada resorte funcione de manera autónoma, absorbiendo el peso y los movimientos del usuario sin transmitirlos al resto del colchón, lo que mejora considerablemente la calidad del descanso, especialmente en el caso de parejas.

Asimismo, estos colchones destacan por su elevada adaptabilidad, ya que la capacidad de cada muelle de comprimirse de manera independiente facilita una distribución uniforme del peso corporal, reduciendo los puntos de presión y favoreciendo una postura ergonómica. Este factor es especialmente relevante en términos de salud postural, ya que permite que la columna vertebral mantenga su alineación natural durante el descanso.

Otro aspecto fundamental es su durabilidad y resistencia a la deformación. A diferencia de los sistemas de muelles tradicionales, los colchones de muelles ensacados mantienen su capacidad de soporte por un período prolongado, evitando la aparición de hundimientos y garantizando una mayor estabilidad estructural con el paso del tiempo. Esta longevidad estructural contribuye a su popularidad en el mercado, ya que reduce la necesidad de reemplazo frecuente.

Además, los colchones de muelles ensacados son compatibles con una amplia variedad de materiales, lo que permite su combinación con capas superiores de látex o viscoelástica para optimizar el confort y la adaptabilidad. Esta versatilidad posibilita la creación de modelos híbridos que combinan la estabilidad de los muelles con la suavidad y capacidad de adaptación de otros materiales.

No obstante, pese a sus numerosas ventajas, los colchones de muelles ensacados también presentan ciertos inconvenientes que deben considerarse. En primer lugar, su **sistema de encapsulado** puede afectar la ventilación del colchón, ya que las bolsas de tela que recubren cada resorte reducen la circulación del aire en comparación con los sistemas de muelles Bonnell o de hilo continuo. Esta menor transpirabilidad puede influir en la regulación térmica del colchón y en la acumulación de humedad, lo que podría afectar su mantenimiento a largo plazo.

Por otro lado, el proceso de fabricación de los colchones de muelles ensacados es más complejo y costoso en comparación con otros sistemas de muelles. La necesidad de encapsular individualmente cada resorte y de ensamblar cuidadosamente la estructura encarece su producción, lo que se traduce en un precio final más elevado para el consumidor. Esta diferencia de coste puede representar una barrera de acceso para algunos usuarios, aunque se justifica por la mayor calidad y durabilidad del producto. Existen diversas marcas y modelos que han desarrollado sistemas innovadores dentro de la categoría de muelles ensacados. Algunos ejemplos destacados incluyen:

Pikolin Normablock® Ensacado: Combina la tecnología Normablock con muelles ensacados para ofrecer mayor firmeza en la zona lumbar y una alta independencia de lechos.

Flex Multielástico® Ensacado: Incorpora un sistema híbrido que optimiza la firmeza progresiva y la adaptabilidad ergonómica del colchón.

Sealy Hybrid Ensacado: Mezcla una base de muelles ensacados con capas superiores de viscoelástica para mejorar el confort y reducir la presión en las articulaciones.

Los colchones de muelles ensacados representan una de las soluciones más avanzadas en el sector del descanso, combinando tecnología ergonómica, adaptabilidad y durabilidad. Su fabricación a partir de muelles encapsulados individualmente permite una respuesta personalizada a la presión ejercida por el cuerpo, reduciendo la transmisión de movimientos y mejorando la calidad del sueño. A pesar de su mayor coste y menor ventilación en comparación con otros sistemas de muelles, su capacidad para proporcionar un descanso más confortable y prolongado en el tiempo los posiciona como una de las opciones más recomendadas en el mercado actual.

1.3.4. COLCHÓN DE MICROMUELLES

Los colchones de micromuelles representan una **evolución avanzada** dentro de los sistemas de muelles ensacados, caracterizándose por una mayor densidad de resortes de menor tamaño. Con una estructura que puede contener entre 1500 y 3000 muelles por metro cuadrado, ofrecen un soporte altamente preciso y una adaptabilidad superior, favoreciendo una distribución uniforme del peso y reduciendo los puntos de presión. (EBIA, 2020; Rinzler, 2013)

Cada micromuelle se encuentra encapsulado individualmente en una bolsa de tela transpirable, lo que optimiza la independencia de lechos al evitar la transmisión de movimientos, mejorando significativamente la estabilidad del descanso. Además, su configuración permite una excelente transpirabilidad, regulando la temperatura y previniendo la acumulación de humedad, lo que contribuye a la higiene y durabilidad del colchón. (Gupta & Kumar, 2010) (Fig. 11)

Entre sus principales ventajas destacan su alta capacidad de adaptación a la morfología del usuario, su resistencia estructural y su compatibilidad con materiales como viscoelástica o látex, que mejoran la sensación de confort. No obstante, presentan ciertas limitaciones, como un mayor coste de producción debido a la complejidad del proceso de fabricación, una posible sensación de firmeza inicial y un peso más elevado en comparación con otros colchones.

Su uso es altamente recomendable para personas que buscan un soporte ergonómico avanzado, parejas con hábitos de sueño distintos y entornos donde la calidad del descanso es prioritaria, como hoteles de alta gama. En conclusión, los colchones de micromuelles constituyen una de las opciones más innovadoras y eficaces en el sector del descanso, combinando tecnología de vanguardia con un rendimiento excepcional en términos de confort y durabilidad (Kovacs et al., 2004).



FIG. 11: MICROMUELLES <https://naturfless.es/colchones/muelles/premium-top/>

CONCLUSIÓN

La evolución de los colchones de muelles ha dado lugar a una amplia gama de soluciones que combinan confort, soporte y tecnología. Desde los tradicionales muelles Bonnell hasta los micromuelles de alta densidad, cada sistema responde a necesidades específicas de ergonomía, ventilación, independencia de lechos y durabilidad. Los muelles de hilo continuo mejoran la estabilidad estructural, mientras que los ensacados y micromuelles ofrecen adaptabilidad avanzada y un descanso más personalizado. Esta diversificación posiciona a los colchones de muelles como opciones vigentes y versátiles, capaces de satisfacer tanto demandas domésticas como profesionales en el ámbito del descanso.

1.4. COLCHONES DE ESPUMA

Los colchones de espuma están fabricados con diferentes tipos de espuma de poliuretano, un material sintético que ofrece distintos niveles de densidad y firmeza según su composición. Son una alternativa versátil a los colchones de muelles y se han popularizado por su capacidad de adaptarse al cuerpo, proporcionar un buen soporte y eliminar la transferencia de movimientos entre durmientes.

La espuma reacciona al peso del cuerpo, permitiendo generar una distribución uniforme del peso evitando los puntos de presión. La composición celular de su estructura (abierta o cerrada) puede conseguir que esta mejore sus propiedades (transpirabilidad y confort térmico) y variando su densidad podemos conseguir mayor o menor firmeza. Dentro del mercado podemos encontrar varios tipos de espumas:

1.4.1. ESPUMA DE POLIURETANO CONVENCIONAL

La espuma de poliuretano convencional es un material polimérico ampliamente utilizado en la fabricación de colchones debido a su versatilidad, bajo costo y facilidad de producción. Se obtiene mediante la **reacción química** entre un diisocianato (generalmente tolueno diisocianato, TDI, o difenilmetano diisocianato, MDI) y un poliol², en presencia de agentes catalizadores y espumantes como el agua, que induce la formación de una estructura celular característica (Hepburn, 1992). Esta estructura, compuesta por células abiertas o cerradas según el tipo de formulación, determina sus propiedades mecánicas y su capacidad de adaptación al cuerpo. (Fig.12)

La espuma de poliuretano se distingue por su **ligereza** y capacidad de fabricación en distintos **grados de densidad y firmeza**. Su densidad, medida en kg/m³, influye directamente en la resiliencia y durabilidad del material. Espumas de baja densidad (inferiores a 25 kg/m³) suelen ser más blandas y menos resistentes a la deformación, mientras que aquellas con densidades superiores a 30 kg/m³ ofrecen mayor firmeza y estabilidad estructural.



FIG. 12: COLCHÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO CONVENCIONAL <https://www.residuosprofesional.com/colchones-recicladosp-un-ano-planta-urbaser-elche/>

² Compuesto orgánico con múltiples grupos hidroxilo (–OH) que se utiliza como componente clave en la producción de poliuretanos.

A pesar de su estabilidad inicial, una de sus principales limitaciones es la **pérdida progresiva** de sus propiedades mecánicas con el tiempo, lo que se traduce en la disminución del soporte y la aparición de deformaciones permanentes. Este fenómeno, conocido como fatiga del material, se debe a la degradación de los enlaces químicos en su estructura polimérica, especialmente cuando se expone a cargas continuas y a variaciones térmicas (Hepburn, 1992; Son & Lim, 2010).

Uno de los principales beneficios de la espuma de poliuretano convencional es su accesibilidad económica, lo que la convierte en una opción predominante en colchones de gama baja y media. Además, su peso ligero facilita el transporte y la manipulación del producto. Gracias a su capacidad de fabricación en distintas firmezas, se emplea tanto como base estructural en colchones de doble núcleo como en capas superiores combinadas con otros materiales, como viscoelástica o látex, para mejorar el confort. (Fig. 13)

Sin embargo, este material también presenta ciertas desventajas. Su capacidad de **transpiración** es reducida debido a la estructura de sus células, lo que puede generar una acumulación de calor y afectar la regulación térmica del colchón. Para mitigar este problema, algunos fabricantes incorporan tratamientos adicionales, como perforaciones estratégicas o la adición de geles termorreguladores que mejoran la ventilación.

Además, su durabilidad es menor en comparación con otras opciones de alta gama, como el látex natural o la espuma viscoelástica de alta densidad. Con el uso prolongado, tiende a perder firmeza y a presentar hundimientos en las zonas de mayor presión. Este fenómeno es especialmente notable en colchones de espuma de baja densidad, donde la vida útil puede verse reducida significativamente. (Randall & Lee, 2002)

La espuma de poliuretano convencional sigue siendo una opción ampliamente utilizada en la industria del descanso debido a su bajo costo y facilidad de producción. No obstante, su desempeño en términos de durabilidad y confort es inferior al de otros materiales más avanzados. A pesar de sus limitaciones en transpirabilidad y resistencia al desgaste, sigue siendo una alternativa viable cuando se combina con otros materiales que compensan sus carencias, optimizando su rendimiento y mejorando la experiencia de descanso del usuario.



FIG. 13: FABRICACIÓN DE LA ESPUMA DE COLCHONES/ <https://colchonesignifugos.com/blog/el-material-mas-usado-en-la-fabricacion-de-colchones-para-un-hospital/>

1.4.2. ESPUMA DE ALTA DENSIDAD (HR-High Resilience)

La espuma de alta densidad, también conocida como HR (High Resilience), es un material de poliuretano expandido con una **estructura celular optimizada** que le confiere una mayor resistencia mecánica, durabilidad y capacidad de adaptación en comparación con las espumas convencionales. Su aplicación en la fabricación de colchones responde a la necesidad de un material que proporcione un soporte ergonómico, minimizando la deformación con el uso prolongado y mejorando la transpirabilidad del producto (Randall & Lee, 2002).

La espuma HR pertenece a la familia de los poliuretanos flexibles, cuya estructura se forma a partir de la reacción química entre un polioliol (generalmente poliéter o poliéster) y un diisocianato³ (típicamente TDI – tolueno diisocianato o MDI – difenilmetano diisocianato), en presencia de agentes espumantes y catalizadores (Hepburn, 1992; ISO 1798:2008).

Una característica distintiva de la espuma HR es su estructura celular más abierta y heterogénea, en contraposición a las espumas convencionales de poliuretano, que presentan celdas más cerradas y homogéneas. Esta porosidad incrementada favorece la circulación del aire dentro del material, reduciendo la acumulación de calor y mejorando la regulación térmica del colchón. Los principales componentes químicos de la espuma HR incluyen:

Poliololes de alto peso molecular, que aportan flexibilidad y resistencia a la fatiga mecánica. Diisocianatos aromáticos o alifáticos, responsables de la formación de la matriz polimérica del material. Catalizadores como aminas terciarias o compuestos organometálicos, que controlan la velocidad de reacción y la formación de la espuma. Agentes espumantes, como agua o gases físicos (CO₂), que regulan la expansión del material. Retardantes de llama opcionales, en cumplimiento con normativas de seguridad frente a incendios.

En comparación con la espuma de poliuretano convencional, la HR presenta una mayor elasticidad y menor deformación permanente, lo que mejora la ergonomía y la vida útil del colchón. Frente a materiales como la viscoelástica, la espuma HR ofrece un menor grado de conformación al cuerpo, pero una mayor firmeza y una menor retención de calor. Respecto al látex, la HR se caracteriza por su menor peso y coste de producción, aunque con una elasticidad inferior.

La espuma HR representa una evolución en la tecnología de colchones, combinando resistencia, durabilidad y transpirabilidad. Su formulación avanzada permite optimizar la distribución de presiones sin comprometer la firmeza, haciendo de este material una opción preferente en el sector del descanso.

Las propiedades mecánicas de la espuma HR están determinadas por su **densidad**, composición química y el proceso de fabricación empleado. Entre los principales parámetros técnicos que definen su comportamiento destacan los siguientes:

³ Compuesto químico con dos grupos isocianato (-NCO) que reacciona con polioliol para formar poliuretanos.

Densidad aparente: Se sitúa en un rango de 30 a 50 kg/m³, lo que proporciona una mayor durabilidad y capacidad de carga en comparación con espumas de menor densidad, generalmente inferiores a 25 kg/m³. Esta característica contribuye a una mayor resistencia al desgaste y a una vida útil más prolongada del material (ISO 845:2006).

Índice de resiliencia: Presenta valores superiores al 50%, lo que significa que la espuma posee una alta capacidad de recuperación tras la aplicación de carga, evitando deformaciones permanentes y manteniendo su estructura intacta durante más tiempo (ASTM D3574).

Módulo de compresión: Garantiza un soporte adecuado sin provocar hundimientos excesivos, con valores que oscilan entre 3 y 5 kPa cuando se somete a una compresión del 40%. Este equilibrio entre firmeza y adaptabilidad permite una mejor distribución de presiones y una mayor ergonomía (ISO 2439).

Fatiga mecánica: Exhibe una elevada resistencia a la pérdida de grosor incluso después de ciclos repetitivos de compresión. En ensayos de fatiga mecánica, la espuma HR ha demostrado una reducción inferior al 10% de su espesor original tras 80.000 ciclos de carga, lo que la convierte en un material idóneo para un uso continuado sin deterioro significativo (ISO 3385).

Coefficiente de permeabilidad al aire: Comprendido entre 1.5 y 4.5 dm³/(s·m²), lo que permite una adecuada transpirabilidad y minimiza la acumulación de calor en el material. Esta propiedad favorece la regulación térmica y el confort, mejorando la ventilación interna del colchón y reduciendo la sensación de calor durante el descanso (DIN 53120).

Es un material de gran calidad utilizado en la fabricación de colchones debido a su resistencia, durabilidad y capacidad de adaptación al cuerpo. Su nombre hace referencia a su alta resiliencia, lo que significa que tiene una mayor capacidad de recuperación y mantiene su forma y firmeza durante más tiempo en comparación con la espuma de poliuretano convencional.

Este tipo de espuma se caracteriza por tener una estructura celular más abierta, lo que le permite ofrecer un soporte más uniforme y una mejor circulación del aire, reduciendo la acumulación de calor. A diferencia de las espumas convencionales, la HR se adapta mejor al cuerpo sin perder firmeza, proporcionando un equilibrio entre comodidad y soporte. Esto la convierte en una excelente opción para quienes buscan un colchón que no se deforme fácilmente y que proporcione un descanso más ergonómico. (Fig.14)

Entre sus principales ventajas, destaca su alta durabilidad, ya que soporta mejor el peso y el uso continuo sin perder sus propiedades. Además, su capacidad de adaptación al cuerpo ayuda a reducir los puntos de presión, favoreciendo una postura más saludable al dormir. También es una espuma más transpirable que la convencional, lo que mejora la regulación térmica del colchón.

Sin embargo, en comparación con otros materiales como la viscoelástica o el látex, la espuma HR puede ofrecer una menor sensación de acogida, ya que su estructura es más firme y no se moldea tanto al cuerpo. Además, su coste es algo superior al de las espumas convencionales, aunque su mayor durabilidad justifica la inversión.



FIG. 14: FABRICACIÓN DE ESPUMA CONTACT HR <https://interplasp.com/espuma-contact-hr-contact-hr-foam/>

1.4.3. ESPUMA VISCOELÁSTICA

La espuma viscoelástica es un material polimérico de alta tecnología utilizado en la fabricación de colchones debido a su capacidad de **adaptación morfológica y alivio de presión**. Su desarrollo inicial por la NASA en la década de 1960 tenía como objetivo mejorar la seguridad y comodidad de los astronautas al distribuir la presión de manera uniforme y absorber impactos en condiciones de microgravedad. Posteriormente, esta tecnología fue incorporada en el sector del descanso, convirtiéndose en una de las opciones más valoradas en el diseño de colchones ergonómicos. (Fig. 15)

La espuma viscoelástica pertenece a la familia de los poliuretanos modificados, cuya formulación química implica la reacción entre un polirol (usualmente poliéter) y un diisocianato (principalmente MDI – difenilmetano diisocianato), en presencia de agentes espumantes y aditivos específicos. La estructura molecular del material se caracteriza por la presencia de cadenas poliméricas de alta flexibilidad, lo que le confiere sus propiedades distintivas de deformación lenta y adaptación progresiva a la presión y la temperatura. Los principales componentes químicos que intervienen en la formación de la espuma viscoelástica son:

Poliolos de alto peso molecular, responsables de la elasticidad y capacidad de retorno del material tras la deformación. **Diisocianatos aromáticos**, como el MDI, que actúan como agentes de reticulación en la formación de la matriz polimérica (Hepburn, 1992). **Catalizadores** organometálicos o de aminas terciarias, utilizados para controlar la velocidad de reacción y garantizar una expansión homogénea de la espuma. **Agentes espumantes**, como agua o gases físicos (CO₂), que facilitan la formación de la estructura celular abierta o cerrada según la formulación deseada. **Plastificantes** y retardantes de llama, empleados para modificar la dureza y mejorar la seguridad del material ante incendios, cumpliendo con normativas como la Certificación FMVSS 302 para materiales retardantes de combustión. **Aditivos termorreactivos**⁴, que regulan la sensibilidad de la espuma a la temperatura corporal, optimizando su respuesta a las condiciones ambientales y mejorando la experiencia del usuario (Dubois et al., 2003).

⁴Sustancias que se activan o modifican sus propiedades al aplicarse calor, influyendo en la reacción o el comportamiento del material.

Las propiedades mecánicas y térmicas de la espuma viscoelástica están determinadas por su formulación química, densidad y proceso de fabricación. Su comportamiento varía en función de estos factores, lo que permite adaptar el material a diferentes niveles de soporte y confort.

En términos de densidad aparente, la espuma viscoelástica se encuentra en un rango de 40 a 90 kg/m³, siendo las formulaciones de mayor densidad las que ofrecen una mayor durabilidad y resistencia a la deformación. Esta característica influye directamente en su capacidad de adaptación y en la longevidad del material (Randall & Lee, 2002).

El **índice de resiliencia** de la espuma viscoelástica es inferior al 20%, lo que significa que su recuperación tras la aplicación de carga es lenta. Esta propiedad es esencial para su capacidad de adaptación, ya que permite que el material se amolde progresivamente al cuerpo, ofreciendo un soporte más envolvente y ergonómico (Hilyard & Cunningham, 1994).

En cuanto a su dureza o **módulo de compresión**, la espuma viscoelástica presenta valores comprendidos entre 1 y 3 kPa a una deformación del 40%, lo que le confiere una elevada sensación de amortiguación. Esta baja resistencia a la compresión permite una distribución gradual del peso, proporcionando un descanso sin puntos de presión excesivos (Kovacs et al., 2004).

Una de las principales ventajas de este material es su capacidad de alivio de presión, ya que distribuye el peso de manera uniforme, minimizando la presión sobre zonas sensibles como los hombros, las caderas y la zona lumbar. Esta propiedad contribuye a una mejor alineación de la columna y a una reducción de la tensión muscular durante el descanso.

En términos de **transpirabilidad**, el coeficiente de permeabilidad al aire de las espumas viscoelásticas convencionales se encuentra entre 0.5 y 2.0 dm³/(s·m²), lo que indica una menor capacidad de ventilación en comparación con otros materiales como la espuma HR. Sin embargo, algunas formulaciones modernas han incorporado estructuras de células abiertas para mejorar la circulación del aire y reducir la acumulación de calor (DIN 53120).

Por último, la espuma viscoelástica presenta una conductividad térmica superior a la de las espumas de poliuretano convencionales, lo que favorece la retención de calor y puede generar una sensación térmica elevada durante el descanso. Para mitigar este efecto, se han desarrollado variantes con infusión de gel termorregulador y partículas de grafito, destinadas a mejorar la disipación del calor y aumentar la frescura del material.

Frente a la espuma HR, la viscoelástica ofrece una mayor adaptabilidad y alivio de presión, pero con una menor resiliencia y una recuperación más lenta. En comparación con el látex, presenta una menor elasticidad y transpirabilidad, aunque con una mejor distribución de presión y un ajuste más preciso a la forma del cuerpo.

La espuma viscoelástica ha revolucionado la industria del descanso gracias a su capacidad de conformarse al cuerpo, proporcionando un soporte personalizado y mejorando la calidad del sueño. Si bien presenta **limitaciones** como la retención de calor y la menor transpirabilidad, los avances en su formulación han permitido optimizar su comportamiento térmico y mecánico, consolidándola como un material de referencia en la fabricación de colchones ergonómicos y productos para el confort.



FIG.15: FABRICACIÓN DE ESPUMA VISCOELÁSTICA <https://interplasp.com/espuma-contact-hr-contact-hr-foam/>

1.4.5. ESPUMA DE LÁTEX

La espuma de látex es un material polimérico utilizado en la fabricación de colchones debido a su elevada elasticidad, resistencia mecánica y capacidad de adaptación al cuerpo. Su origen puede ser natural, obtenido a partir del exudado del árbol *Hevea brasiliensis*, o sintético, derivado de la polimerización de compuestos petroquímicos. Existen también formulaciones mixtas que combinan ambos tipos para optimizar sus propiedades mecánicas, térmicas y de durabilidad.

El látex natural se compone de una **dispersión coloidal** en agua con un alto contenido de poliisopreno, polímero que le confiere sus características de elasticidad y resiliencia. Su extracción se realiza mediante incisiones en la corteza del árbol, tras lo cual se somete a un proceso de vulcanización para mejorar su estabilidad y resistencia.

El látex sintético, por otro lado, se fabrica a partir de la polimerización de estireno y butadieno (*styrene-butadiene rubber* - SBR), que simula las propiedades mecánicas del látex natural, aunque con menor elasticidad y transpirabilidad. Los colchones de látex pueden fabricarse mediante dos procesos principales:

Proceso Dunlop: Consiste en espumar el látex, verterlo en un molde y someterlo a vulcanización con azufre y acelerantes químicos. Este método produce una espuma más densa y resistente.

Proceso Talalay: Implica una fase adicional de vacío y congelación antes de la vulcanización, generando una estructura celular más abierta y homogénea, con mayor suavidad y transpirabilidad.

Entre los principales componentes químicos que intervienen en la formulación del látex se encuentran:

Poliisopreno (en látex natural) o caucho de estireno-butadieno (SBR en látex sintético), que constituyen la matriz polimérica del material. **Acelerantes de vulcanización**, como el azufre y óxidos metálicos (zinc), que mejoran la resistencia y elasticidad del material. **Agentes espumantes**, que permiten la formación de la estructura porosa característica del látex. **Retardantes de llama**, utilizados en algunas formulaciones para cumplir con normativas de seguridad contra incendios. **Aditivos antimicrobianos y antifúngicos**, que incrementan la resistencia del material frente a la proliferación de bacterias, moho y ácaros.

El látex se distingue por sus excepcionales propiedades mecánicas, que le otorgan una notable durabilidad y una elevada capacidad de recuperación. Su densidad aparente oscila entre 60 y 95 kg/m³, dependiendo tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza del material, ya sea látex natural, sintético o una combinación de ambos (Hilyard & Cunningham, 1994).

Una de sus características más relevantes es su **índice de resiliencia**, superior al 60%, lo que significa que el material recupera rápidamente su forma original tras la aplicación de carga. Esta propiedad permite evitar deformaciones permanentes y garantizar un soporte uniforme durante el descanso (ISO 845:2006).

En cuanto a su **módulo de compresión**, se encuentra en un rango de 3 a 6 kPa cuando se somete a una deformación del 40%, lo que proporciona un equilibrio óptimo entre firmeza y adaptabilidad. Gracias a esta capacidad, el látex se adapta eficazmente a la forma del cuerpo sin generar sensación de hundimiento excesivo (Harwood, 2002).

Además, el látex se caracteriza por su **alta transpirabilidad**, con un coeficiente de permeabilidad al aire que varía entre 3 y 8 dm³/(s·m²). Esta propiedad, significativamente superior a la de la espuma viscoelástica, favorece una mejor ventilación interna del material, contribuyendo a una regulación térmica más eficiente y evitando la acumulación de calor durante el descanso (Gupta & Kumar, 2010).

Por último, su **durabilidad** es otro de sus puntos fuertes, ya que presenta una elevada resistencia a la fatiga mecánica. En ensayos de compresión repetitiva, el material ha demostrado pérdidas de espesor inferiores al 10% incluso tras más de 100,000 ciclos de carga, lo que lo convierte en una de las opciones más longevas y fiables dentro de la industria del descanso.

El látex se diferencia de la espuma viscoelástica en su mayor resiliencia y ventilación, ofreciendo un soporte más elástico y con menor retención de calor. En comparación con la espuma HR, proporciona una mayor capacidad de adaptación y una estructura celular más abierta, aunque con un coste de producción más elevado y un peso superior, lo que puede dificultar su manipulación.

La espuma de látex es un material de alto rendimiento en la fabricación de colchones, caracterizado por su gran elasticidad, capacidad de recuperación y durabilidad. Su estructura celular abierta le confiere una transpirabilidad superior a otros materiales, lo que mejora la regulación térmica y el confort durante el descanso. Aunque su peso y coste pueden ser mayores en comparación con otros tipos de espumas, su resistencia y propiedades ergonómicas lo convierten en una opción altamente valorada en el sector del descanso. (Fig.16)

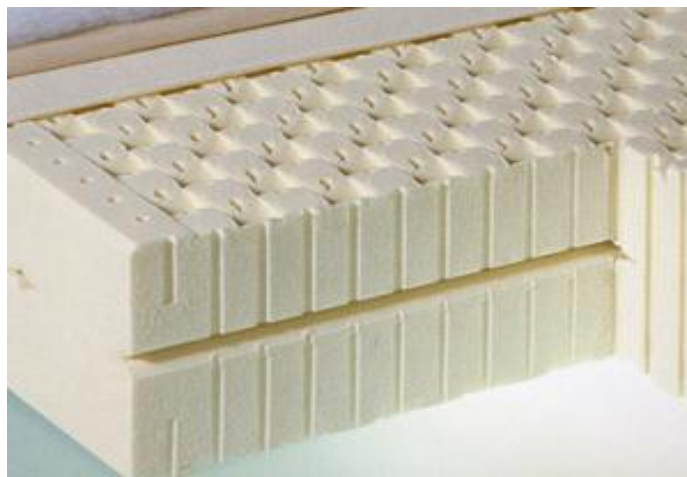


FIG. 16: ESTRUCTURA DE UN COLCHÓN DE LÁTEX <https://www.colchonescondescuento.es/foro-colchones/colchon-latex-viscoelastico/>

1.4.6. ESPUMA DE GEL

La espuma de gel es un material innovador en la industria del descanso que combina las propiedades de la espuma viscoelástica con partículas o capas de gel diseñadas para mejorar la transpirabilidad y la regulación térmica del colchón. Su desarrollo surge como una solución a una de las principales limitaciones de la viscoelástica tradicional: su tendencia a retener el calor, lo que puede generar una sensación de temperatura elevada durante el descanso. La espuma de gel se basa en una matriz polimérica de poliuretano modificada con aditivos específicos que le confieren su capacidad termorreguladora. Su formulación química incluye:

Poliolos de alto peso molecular (poliéter o poliéster), que proporcionan la elasticidad y la adaptabilidad propias de la espuma viscoelástica. **Diisocianatos aromáticos** (MDI - difenilmetano diisocianato o TDI - tolueno diisocianato), que reaccionan con los poliolos para formar la matriz de poliuretano. **Catalizadores orgánicos** (aminas terciarias y organometálicos), que controlan la velocidad de reacción y la expansión del material. **Agentes espumantes**, como agua o gases inertes, que facilitan la formación de la estructura celular de la espuma. Partículas o **microcápsulas de gel**, elaboradas a partir de polímeros sintéticos termoactivos, como el poliacrilato o el polisiloxano⁵, que se incorporan en la matriz de la espuma para mejorar su capacidad de disipación del calor. En algunos casos, el gel también se presenta en capas aplicadas sobre la espuma viscoelástica. **Aditivos termorreguladores**, como partículas de grafito, óxido de titanio o compuestos de cambio de fase (PCM - *Phase Change Materials*), que potencian la capacidad del material para almacenar y liberar calor en función de la temperatura ambiental y corporal (Wicks et al., 2007).

⁵ polímero inorgánico basado en una cadena de silicio y oxígeno, conocido por su flexibilidad, estabilidad térmica y resistencia química.

Las propiedades de la espuma de gel están determinadas por su formulación química y la cantidad de gel incorporado en su estructura polimérica. Su comportamiento varía en función de estos factores, lo que permite ajustar sus características de confort y regulación térmica. (Fig.17)

En términos de **densidad aparente**, la espuma de gel se encuentra en un rango de 45 a 90 kg/m³, dependiendo tanto de la proporción de gel como de la configuración estructural de la espuma base. Una mayor densidad suele estar asociada a una mejor capacidad de soporte y durabilidad.



FIG. 17: COLCHÓN MEMORIA DE GEL <https://napcloud.in/what-is-a-gel-memory-foam-mattress/>

El **índice de resiliencia** de este material es inferior al 25%, lo que indica una recuperación lenta de la forma tras la aplicación de carga (ASTM D3574; Verrillo et al., 2014). Esta característica es similar a la de la espuma viscoelástica convencional y permite que la espuma de gel se amolde gradualmente al cuerpo, proporcionando un soporte envolvente y ergonómico.

En cuanto a su **módulo de compresión**, presenta valores comprendidos entre 1.5 y 4 kPa a una deformación del 40% (ISO 2439:2008). Este rango proporciona un equilibrio entre firmeza y adaptabilidad, permitiendo que la espuma ceda de manera controlada ante la presión del cuerpo sin perder su capacidad de soporte.

Uno de los aspectos clave de este material es su capacidad de **alivio de presión**, ya que su estructura permite distribuir el peso de manera uniforme, minimizando la presión sobre puntos sensibles como los hombros, la espalda y las caderas. Esto favorece una alineación adecuada de la columna vertebral y contribuye a una experiencia de descanso más ergonómica.

Desde el punto de vista de la **ventilación**, la espuma de gel presenta un coeficiente de permeabilidad al aire superior al de la espuma viscoelástica convencional, con valores que oscilan entre 1.0 y 3.5 $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ (DIN 53120; Verrillo et al., 2014). Esta mayor transpirabilidad mejora la circulación del aire dentro del material, reduciendo la acumulación de calor y favoreciendo un entorno de descanso más fresco.

Finalmente, su **capacidad termorreguladora** es una de las principales ventajas del material. La incorporación de gel en su estructura contribuye a disipar el calor acumulado y evita el sobrecalentamiento durante el descanso. No obstante, la efectividad de esta propiedad depende de la calidad del gel utilizado y de su integración en la matriz polimérica. En algunos casos, el efecto refrescante puede disminuir con el tiempo debido a la degradación del material o a la disipación progresiva de los aditivos termorreguladores.

En conjunto, estas características hacen de la espuma de gel un material innovador en la industria del descanso, ofreciendo una combinación equilibrada de confort, soporte y regulación térmica.

La espuma de gel conserva las características ergonómicas de la espuma viscoelástica, pero con una **mejor regulación térmica**. A diferencia de la viscoelástica convencional, su capacidad de disipación de calor la hace más adecuada para climas cálidos y para personas propensas a sentir calor durante el descanso. Frente a la espuma HR, proporciona un mayor grado de adaptación al cuerpo, aunque con una menor resiliencia y un tiempo de recuperación más prolongado.

La espuma de gel representa una evolución dentro de la industria del descanso, combinando la ergonomía de la viscoelástica con una mejor capacidad de disipación del calor. Su estructura permite una adecuada distribución del peso y un soporte adaptable, minimizando la acumulación térmica y mejorando el confort nocturno. A pesar de que su efecto refrescante puede disminuir con el tiempo y su coste es superior al de otros materiales, sigue siendo una de las opciones más avanzadas y valoradas en la fabricación de colchones de alta gama. (Fig. 18)



FIG. 18: COLCHÓN DE GEL <https://www.mollyflex.es/focus/colchones-de-gel/>

CONCLUSIÓN

La evolución de los materiales utilizados en la fabricación de colchones ha permitido el desarrollo de soluciones cada vez más sofisticadas, ergonómicas y adaptadas a las diversas necesidades del usuario. En este contexto, los colchones de espuma han adquirido un protagonismo creciente en la industria del descanso gracias a su capacidad de combinar confort, versatilidad y tecnologías innovadoras. A diferencia de los sistemas tradicionales basados en muelles, las espumas permiten un diseño más flexible del producto final, lo que ha impulsado su incorporación tanto en gamas económicas como en colchones de alta gama.

La espuma de poliuretano convencional sigue siendo una opción ampliamente utilizada por su bajo coste, facilidad de manipulación y producción. No obstante, sus limitaciones en cuanto a durabilidad, pérdida de firmeza con el uso y escasa transpirabilidad la sitúan como una solución básica, que requiere a menudo ser complementada con otros materiales para mejorar su rendimiento. Su estructura celular cerrada reduce la ventilación interna, lo que puede generar acumulación de calor, un inconveniente que algunos fabricantes intentan mitigar con técnicas adicionales como perforaciones o capas de gel.

Frente a esta base más accesible, la espuma de alta resiliencia (HR) representa un salto cualitativo en cuanto a comportamiento mecánico, resistencia a la fatiga y estabilidad estructural. Su estructura celular abierta mejora considerablemente la transpiración, mientras que su elevada resiliencia le permite mantener la forma y firmeza durante más tiempo. Esta espuma ofrece un equilibrio notable entre confort y soporte, siendo muy valorada en colchones de uso intensivo, como los empleados en hoteles o entornos sanitarios.

La espuma viscoelástica, por su parte, ha transformado la experiencia del descanso al incorporar una capacidad de adaptación progresiva al cuerpo que reduce los puntos de presión y favorece una postura ergonómica. Este material, desarrollado inicialmente para la industria aeroespacial, se caracteriza por su lenta recuperación y sensibilidad térmica, cualidades que permiten una distribución uniforme del peso y un alto nivel de confort. Sin embargo, su escasa transpirabilidad y tendencia a retener el calor han motivado el desarrollo de variantes como la espuma de gel.

La espuma de gel se presenta como una respuesta a estas limitaciones, incorporando aditivos termorreguladores y partículas de gel que mejoran la disipación del calor. Esta tipología combina las propiedades envolventes de la viscoelástica con una mejor ventilación, lo que la convierte en una opción idónea para climas cálidos o usuarios con alta sensibilidad térmica. Aunque su coste y complejidad de fabricación son mayores, la experiencia de descanso se ve notablemente mejorada.

Finalmente, la espuma de látex, tanto en su versión natural como sintética, destaca por su alta elasticidad, resiliencia y transpirabilidad. Su capacidad de adaptación sin pérdida de firmeza, junto a su estructura celular abierta, ofrece un entorno de descanso saludable, fresco y duradero. Además, es hipoalergénico y resistente a ácaros, lo que lo convierte en una excelente opción para personas con sensibilidad cutánea o respiratoria. No obstante, su mayor peso y precio pueden representar una barrera para ciertos segmentos del mercado.

1.5. COLCHONES HÍBRIDOS

En los últimos años, la industria del descanso ha experimentado una evolución significativa en la búsqueda de colchones que ofrezcan un **equilibrio óptimo** entre confort, soporte y transpirabilidad. En este contexto, los colchones híbridos se han posicionado como una de las opciones más innovadoras y demandadas del mercado. Esta tendencia responde a la creciente necesidad de soluciones personalizadas que combinen diferentes materiales y tecnologías para mejorar la calidad del sueño.

Los colchones híbridos se diferencian de los modelos tradicionales por su **estructura multicapa**, en la que se integran diferentes tipos de espumas con un núcleo de muelles ensacados. Este diseño permite aprovechar las mejores propiedades de cada material, proporcionando un descanso más ergonómico, una mayor durabilidad y una mejor regulación térmica. Su popularidad ha crecido exponencialmente debido a su capacidad para adaptarse a distintas preferencias y necesidades, ofreciendo un amplio rango de firmezas y niveles de confort.

A continuación, se presentan las principales tipologías de colchones híbridos disponibles en el mercado, junto con sus características y ventajas más destacadas:

1.5.1. COLCHONES HÍBRIDOS DE MUELLES ENSACADOS Y VISCOELÁSTICA

Los colchones híbridos de muelles ensacados y viscoelástica son una de las opciones más populares y equilibradas en el mercado del descanso, ya que combinan la firmeza y transpirabilidad de los muelles ensacados con la adaptabilidad y confort de la espuma viscoelástica. Esta combinación permite ofrecer un soporte óptimo para la espalda, reduciendo los puntos de presión sin sacrificar estabilidad.

El **núcleo de muelles** ensacados es la base de estos colchones y se caracteriza por su capacidad de distribuir el peso de manera independiente. Cada muelle está encapsulado en una funda de tela, lo que evita que el movimiento de un lado del colchón afecte al otro, proporcionando una gran independencia de lechos, ideal para parejas. Además, este sistema permite una circulación de aire constante, lo que ayuda a mantener el colchón fresco y libre de acumulación de humedad.

Sobre este núcleo, se incorpora una **capa de espuma viscoelástica**, un material desarrollado originalmente por la NASA que se adapta al cuerpo al reaccionar al calor y la presión. Gracias a esta propiedad, el colchón ofrece una sensación envolvente y reduce la presión en zonas clave como los hombros, la espalda y las caderas, favoreciendo una mejor alineación de la columna vertebral. Además, al eliminar los puntos de presión, ayuda a mejorar la circulación sanguínea y reduce los despertares nocturnos causados por incomodidad. (Fig. 19)

Entre las ventajas más destacadas de este tipo de colchón se encuentran su gran confort y adaptabilidad, su excelente ventilación y su capacidad para minimizar la transferencia de movimientos. Sin embargo, uno de los posibles inconvenientes es que la viscoelástica puede retener calor si no cuenta con tecnologías de termorregulación, como partículas de gel o estructuras de células abiertas que mejoren la transpirabilidad.

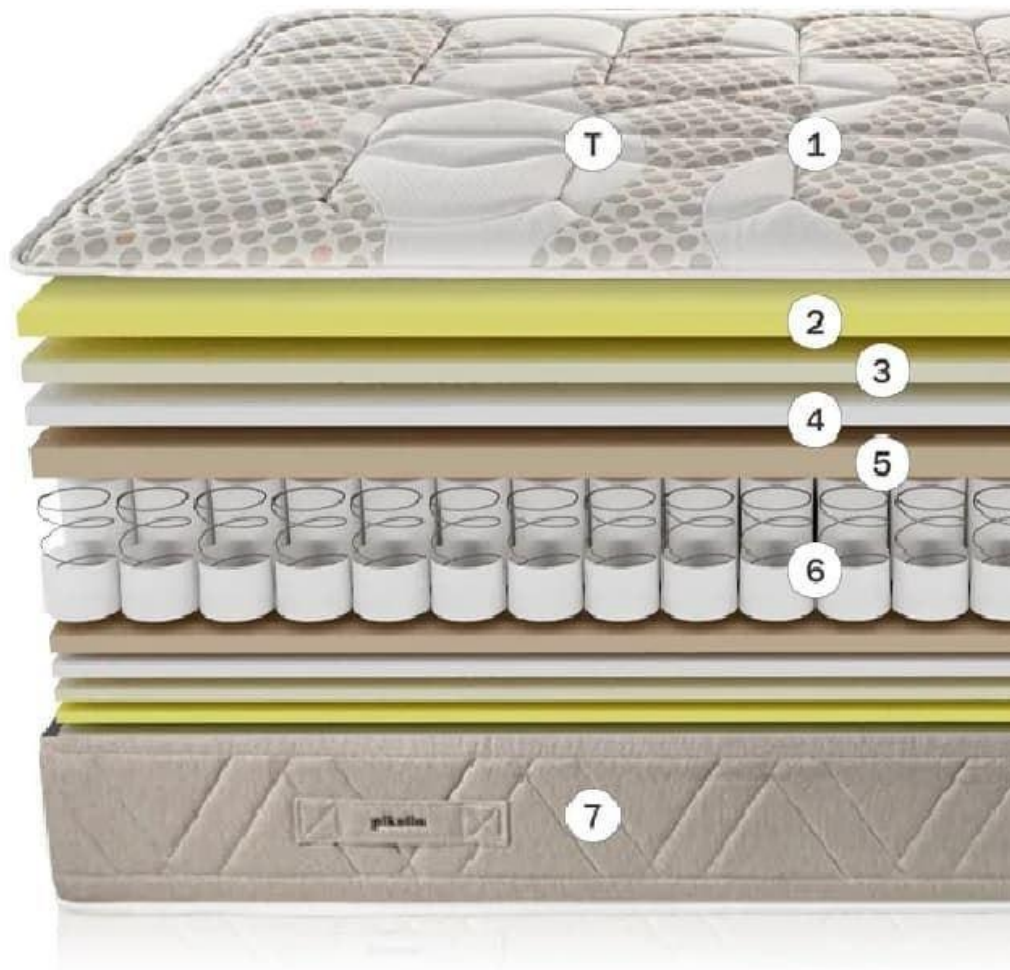


FIG.19: COLCHONES HÍBRIDOS DE MUELLES ENSACADOS Y VISCOELÁSTICA https://www.tiendaoutletdescanso.com/colchon-muelles-ensacados-pikolin-party_pr266199

1.5.2. COLCHONES HÍBRIDOS DE MUELLES ENSACADOS Y LÁTEX

El núcleo de muelles ensacados es la **base estructural** de estos colchones y se compone de resortes independientes envueltos en fundas de tela. Sobre esta base se incorpora una capa de látex, que puede ser natural (extraído del árbol del caucho) o sintético (fabricado con compuestos derivados del petróleo). El látex destaca por su alta elasticidad y rápida recuperación, lo que significa que se adapta al cuerpo sin quedar marcado por el peso durante el descanso. A diferencia de la viscoelástica, que responde lentamente al calor y la presión, el látex mantiene una superficie más dinámica y firme, facilitando los movimientos y proporcionando un soporte continuo. (Fig. 20)

Entre sus ventajas más destacadas se encuentra su **durabilidad**, ya que el látex es un material resistente al desgaste y mantiene su forma por más tiempo. También es hipoalergénico, lo que lo hace ideal para personas con alergias o problemas respiratorios, ya que es resistente a ácaros, moho y bacterias. Además, su transpirabilidad lo convierte en una excelente opción para climas cálidos o para quienes tienden a sudar durante la noche.

Sin embargo, este tipo de colchón también presenta algunos inconvenientes. Su **peso** es mayor que el de otros modelos híbridos, lo que dificulta su manipulación y transporte. Además, los colchones de látex 100% natural tienden a ser más costosos debido a la calidad y origen del material.

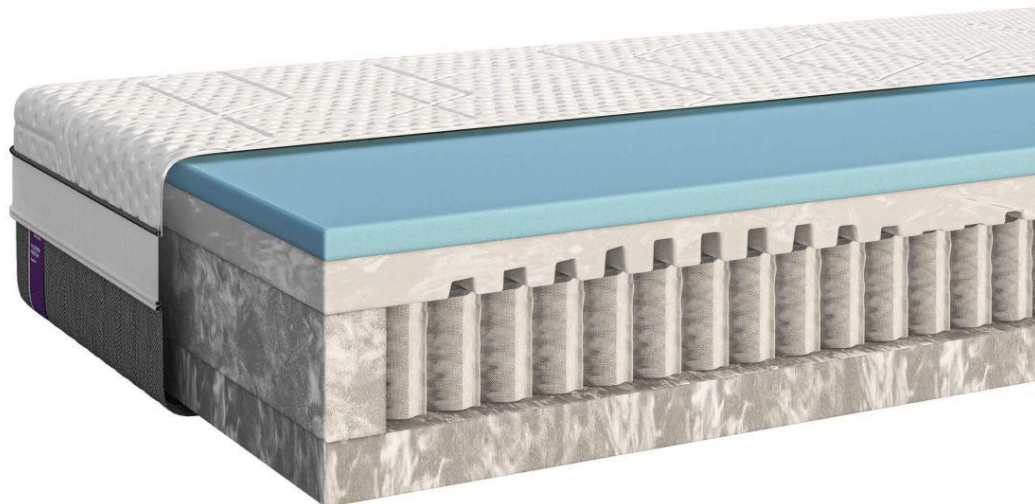


FIG.20: COLCHÓN HÍBRIDO DE MUELLES ENSACADOS Y LÁTEX <https://www.grupotodoplano.com/inicio/24082-colchon-de-muelles-ensacados-emma-fusion-fresh-hibrido.html>

1.5.3. COLCHONES HÍBRIDOS DE MUELLES ENSACADOS Y ESPUMA HR

Sobre la base de muelles ensacados se incorpora una **capa de espuma HR**, un material de alta densidad con una estructura celular abierta que le otorga mayor resistencia y capacidad de recuperación. La espuma HR se diferencia de la espuma convencional porque ofrece un soporte más firme y elástico, adaptándose al cuerpo sin deformarse con el uso prolongado. Su diseño permite una distribución uniforme del peso, evitando puntos de presión y proporcionando un descanso más ergonómico. (Fig. 21)

Entre sus ventajas más destacadas se encuentra su **gran durabilidad**, ya que la espuma HR mantiene su firmeza y estabilidad por más tiempo en comparación con las espumas de menor calidad. También ofrece un soporte óptimo para la espalda, lo que lo convierte en una opción ideal para personas con problemas lumbares o que buscan un colchón con buena sujeción. Además, su combinación con los muelles ensacados garantiza una buena transpirabilidad, ayudando a mantener una temperatura más estable durante el descanso.

Sin embargo, este tipo de colchón también tiene **algunos inconvenientes**. Su adaptabilidad al cuerpo es menor que la de los modelos con viscoelástica o látex, por lo que no ofrece una sensación envolvente, sino un soporte más firme. Además, puede resultar demasiado rígido para personas que prefieren una superficie más mullida o blanda.

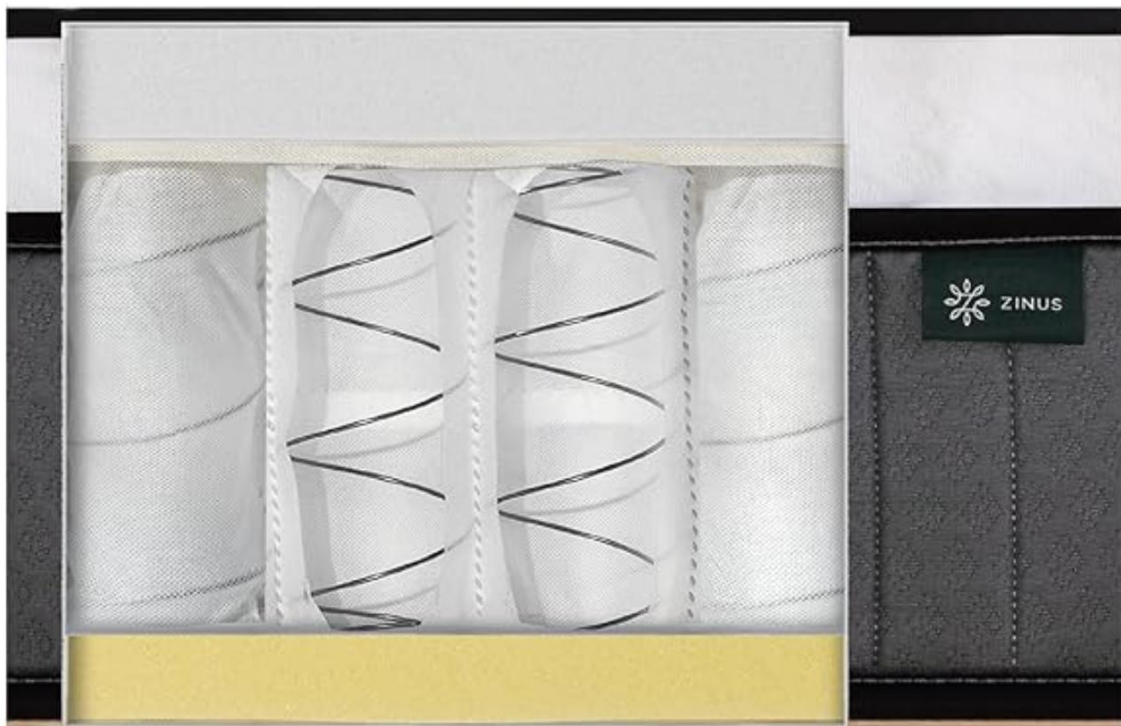


FIG.21: COLCHÓN HÍBRIDO DE MUELLES ENSACADOS Y ESPUMA https://m.media-amazon.com/images/I/8127dHbAInL._AC_SX679_.jpg

1.5.4. COLCHONES HÍBRIDOS CON TECNOLOGÍA DE GEL

En este caso al igual que en el resto de los colchones se utiliza una **base de muelles ensacados**, que proporciona estabilidad y rigidez al conjunto, al que se le añade una capa de espuma viscoelástica con infusión de gel, que se diferencia de la viscoelástica tradicional por su capacidad de dispersar el calor. Esta tecnología utiliza **partículas de gel** o capas de gel refrigerante integradas en la espuma, que ayudan a disipar la temperatura corporal y proporcionan una sensación de frescura durante la noche. Al igual que la viscoelástica convencional, esta espuma se adapta a la forma del cuerpo, aliviando los puntos de presión y mejorando la alineación de la columna vertebral. (Fig. 22)

Entre sus principales **ventajas** destaca su capacidad para mantener una temperatura más estable, reduciendo la sensación de calor que puede generar la espuma viscoelástica tradicional. También proporciona un alto nivel de confort, ya que combina la ergonomía de la viscoelástica con el soporte firme de los muelles ensacados. Además, conserva la independencia de lechos, minimizando la transferencia de movimientos entre durmientes.

Sin embargo, este tipo de colchón también tiene algunos **inconvenientes**. Aunque el gel ayuda a disipar el calor, su efecto refrescante puede disminuir con el tiempo, dependiendo de la calidad y cantidad de gel utilizado. Además, suelen ser más costosos que los colchones híbridos sin esta tecnología.

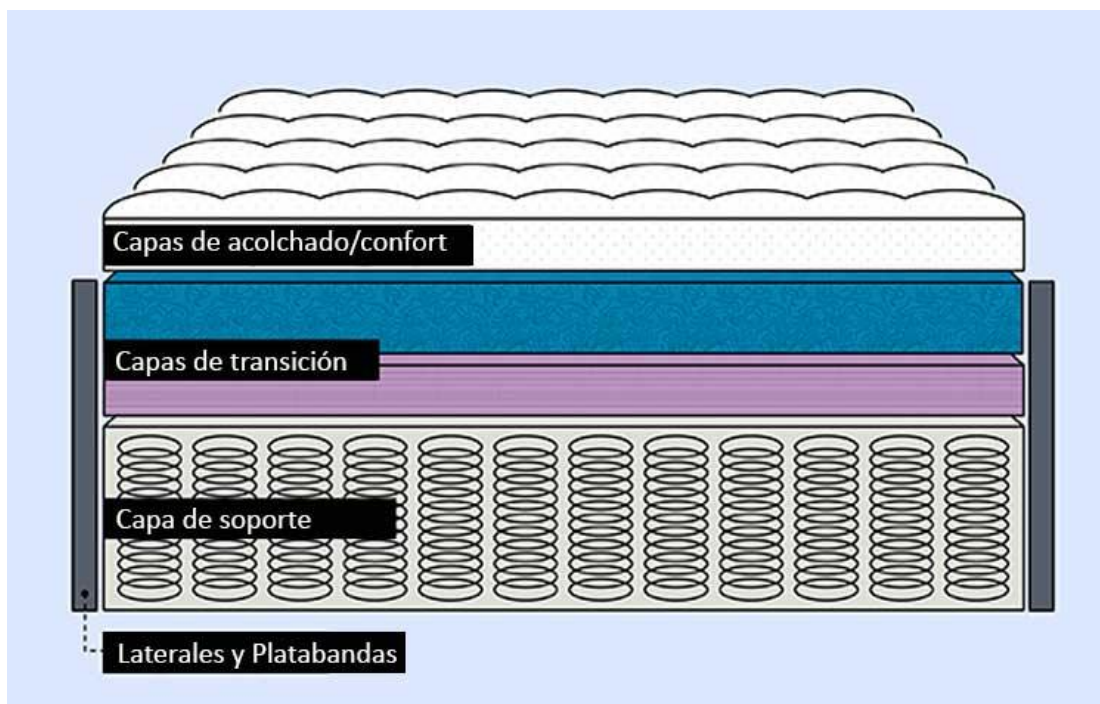


FIG.22: ESQUEMA DE ESTRUCTURA DE COLCHÓN HÍBRIDO <https://decofilia.com/tipos-de-colchones-para-un-merecido-descanso/>

CONCLUSIÓN

Los colchones híbridos se han consolidado como una de las opciones más completas y adaptables en el mercado del descanso actual. Su estructura multicapa, que integra un núcleo de muelles ensacados con diferentes tipos de espumas técnicas, permite combinar los beneficios de cada material para ofrecer un descanso más personalizado, ergonómico y eficiente.

La combinación con espuma viscoelástica aporta una excelente adaptación morfológica y alivio de presión, ideal para usuarios que buscan una experiencia envolvente y suave. Por su parte, el látex, ya sea natural o sintético, suma elasticidad, frescura y resistencia al uso, convirtiéndose en una opción duradera e hipoalergénica. La espuma HR, con su estructura firme y resiliente, está pensada para quienes necesitan un soporte más sólido sin renunciar a la ventilación. Finalmente, la incorporación de gel en la viscoelástica permite mejorar la gestión térmica, evitando el sobrecalentamiento durante la noche, lo que resulta especialmente útil en climas cálidos o para personas calurosas.

Todos estos colchones comparten una base de muelles ensacados que proporciona independencia de lechos, ventilación y soporte progresivo, favoreciendo la estabilidad y la regulación térmica del conjunto. Esta versatilidad hace que los colchones híbridos sean adecuados para un amplio espectro de usuarios, desde quienes sufren dolencias musculares o articulares hasta parejas con necesidades distintas de firmeza.

Sin embargo, también presentan ciertos retos: su peso y complejidad estructural pueden dificultar su manipulación, y su precio suele ser superior al de colchones monocapa, debido a la calidad de sus materiales y a su tecnología integrada.

En definitiva, los colchones híbridos representan una síntesis eficaz entre tradición e innovación, y responden a la creciente demanda de descanso inteligente, adaptable y saludable. Son una apuesta sólida para quienes valoran la calidad del sueño como un componente esencial de su bienestar diario.

1.6. COLCHONES DE AIRE

Los colchones de aire son una **alternativa innovadora** a los modelos tradicionales, ya que utilizan cámaras de aire ajustables como sistema de soporte en lugar de muelles, espuma o látex. Su principal ventaja es la personalización de la firmeza, permitiendo ajustar el nivel de inflado según las necesidades del usuario. Esto los hace ideales tanto para el uso doméstico como para entornos médicos, donde ayudan a reducir la presión corporal y mejorar la circulación sanguínea. (Fig. 23)

Su funcionamiento se basa en **cámaras de aire internas** que pueden inflarse o desinflarse manualmente o mediante compresores eléctricos, e incluso ajustarse automáticamente en modelos avanzados con sensores de presión. Algunos colchones incluyen zonas de ajuste independiente, permitiendo que cada lado tenga una firmeza distinta. Además, ciertos modelos combinan el sistema de aire con capas de espuma viscoelástica o látex, mejorando el confort.

Entre sus principales ventajas, destacan su ajuste personalizado, la distribución uniforme del peso, la independencia de lechos y su durabilidad, ya que no se deforman con el tiempo. Sin embargo, presentan desventajas, como la posible pérdida de aire, la necesidad de ajustes frecuentes, el ruido del sistema de inflado y un mayor mantenimiento. Además, los modelos avanzados pueden ser costosos.

Los colchones de aire tienen múltiples aplicaciones: son ideales para quienes buscan ajuste personalizado y confort en casa, recomendados en el ámbito médico para prevenir úlceras por presión y disponibles en versiones portátiles para camping o uso ocasional.

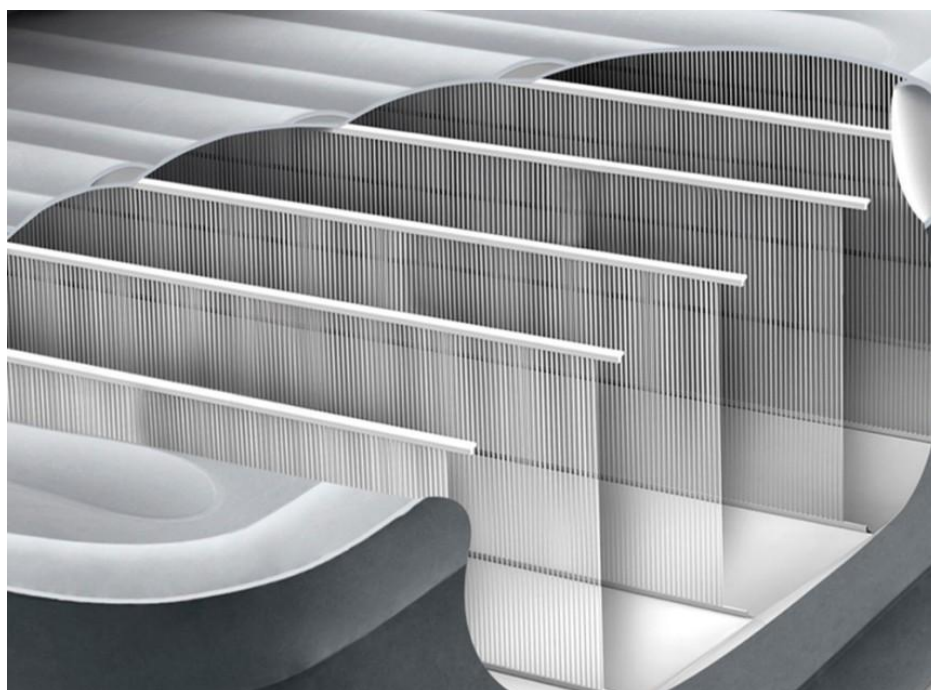


FIG. 23: ESTRUCTURA INTERIOR DE UN COLCHÓN DE AIRE https://www.intexserviceiberia.com/64754-large_default/cama-aire-fiber-tech-comfort-plush-152x203x46-cbomba-ele.jpg

1.7. COLCHONES DE AGUA

Los colchones de agua ofrecen una experiencia de descanso única gracias a su adaptación total al cuerpo y **distribución uniforme del peso**. A diferencia de los modelos tradicionales, su núcleo líquido elimina los puntos de presión, proporcionando una sensación de ingravidez ideal para aliviar dolores musculares y articulares. (Fig. 24)

Existen **dos tipos principales**: los de una sola cámara, que permiten un movimiento libre del agua, generando una sensación de flotación, y los de múltiples cámaras o con sistemas de estabilización, que reducen el balanceo para un descanso más estable. Algunos modelos incluyen sistemas de calefacción, permitiendo ajustar la temperatura para mayor confort.

Entre sus ventajas, destacan su ergonomía, la regulación térmica y la mejora en la circulación sanguínea. Sin embargo, presentan desventajas, como el alto mantenimiento, la difícil instalación debido a su peso, el riesgo de fugas y la posible incomodidad del movimiento del agua en modelos sin estabilización.



FIG. 24: COLCHÓN DE AGUA <http://www.camras-de-agua.com/Manual-de-montaje-cama-de-agua-LYOCELL.htm>

CONCLUSIÓN

Los colchones de aire y de agua ofrecen soluciones especializadas centradas en la personalización y el alivio de presión. Los primeros permiten ajustar la firmeza de forma precisa, siendo ideales en contextos médicos y para usuarios que buscan confort configurable. Los de agua, por su parte, destacan por su adaptación total al cuerpo y sensación de ingravidez, útiles para aliviar dolencias musculares.

1.8. MERCADO ACTUAL Y TENDENCIA DE FUTURO

El **mercado mundial** de colchones ha experimentado un crecimiento constante en las últimas décadas, impulsado por la creciente conciencia sobre la importancia del descanso en la salud y el bienestar. La evolución de los hábitos de consumo, la innovación en materiales y la diversificación de productos han generado una mayor competitividad en la industria, con un enfoque en la personalización y la eficiencia logística.

Según estudios de mercado, el sector global de colchones alcanzó un valor aproximado de 50.000 millones de dólares en 2022, con previsiones de crecimiento anual del 6% hasta 2028 (Statista, 2023). Factores como el auge del comercio electrónico, el incremento en la demanda de colchones ergonómicos y la preocupación por la sostenibilidad han redefinido las estrategias de los fabricantes. (Fig.25)



FIG. 25: GRÁFICO DE VENTAS DE COLCHONES EN ESTADOS UNIDOS <https://www.toptal.com/management-consultants/business-model-consultants/el-despertar-de-una-industria-la-interrupcion-de-la-industria-del-colchon>

Las principales tendencias que dominan el mercado actual incluyen:

-Crecimiento del **comercio electrónico** y modelos "bed in a box", que facilitan la logística y la compra en línea. **Colchones híbridos y personalizados**, combinando materiales como muelles ensacados, viscoelástica y látex para optimizar la experiencia de descanso. Sostenibilidad y reciclaje de materiales, con un enfoque en productos ecológicos y economía circular. Tecnologías inteligentes, con sensores y ajustes de firmeza que permiten una experiencia más personalizada.

En este contexto, marcas como Flex y Pikolin, líderes en el mercado español y con presencia internacional, han tenido que adaptar sus estrategias para mantenerse competitivas. Su apuesta por la innovación, la diversificación de productos y la expansión digital ha sido clave para su crecimiento en un entorno dinámico y altamente competitivo. (Fig. 26)

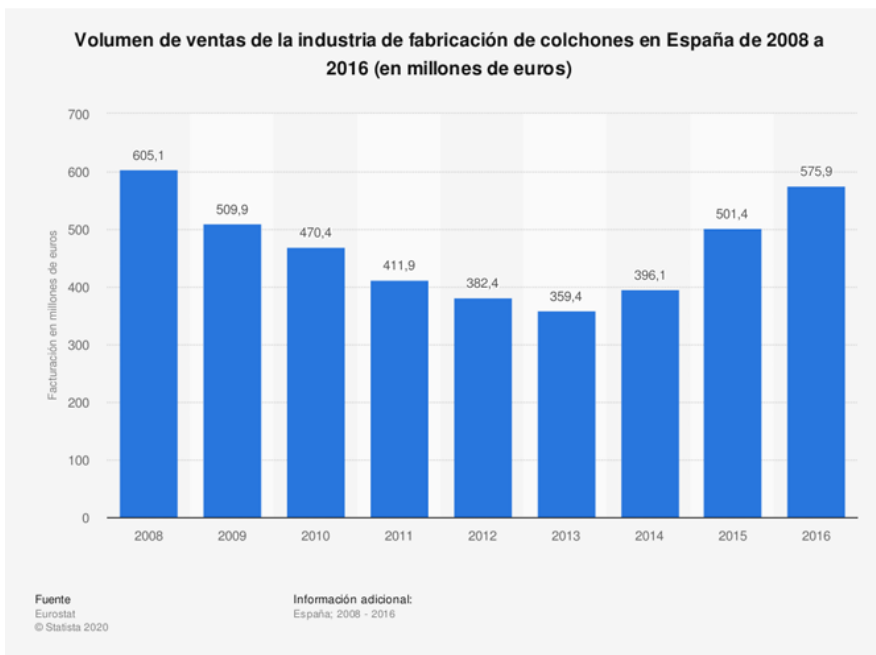


FIG.26: VOLUMEN DE VENTAS DE LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE COLCHONES EN ESPAÑA <https://es.statista.com/estadisticas/920695/facturacion-del-sector-de-fabricacion-de-colchones-en-espana/>

Figura 2.4: Evolución de las exportaciones españolas de colchones

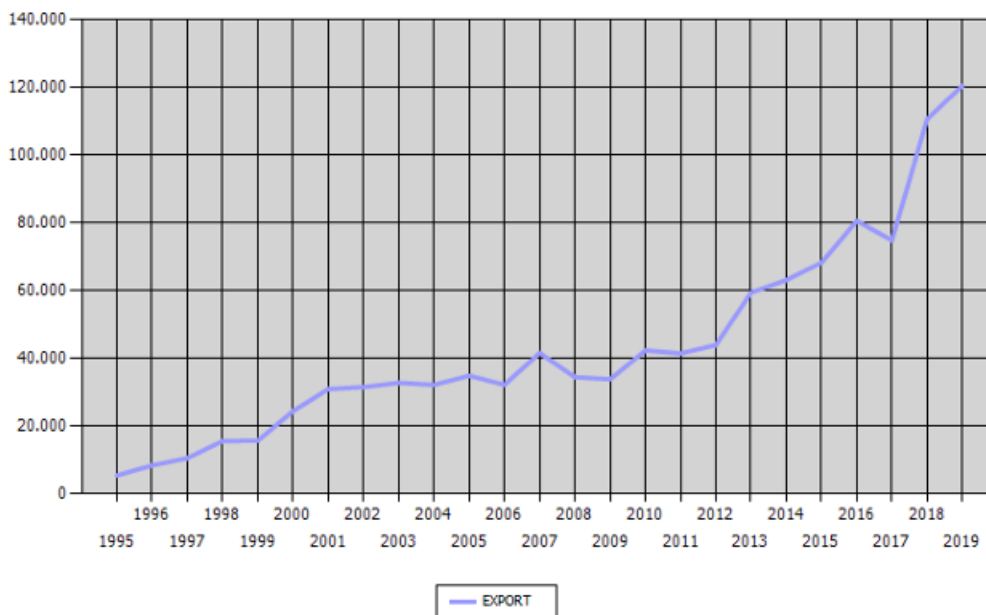


FIG. 27: EXPORTACIONES ESPAÑOLAS DE COLCHONES Ministerio de Economía, Industria y Competitividad a través de datacomex.comercio.es

Flex y Pikolin se han consolidado como las principales referencias del sector en España, siendo dos de los fabricantes más importantes de colchones a nivel europeo. Ambas empresas han basado su éxito en la combinación de tradición e innovación, adaptándose a los cambios en el consumo y la distribución de productos de descanso.

Flex ha centrado su estrategia en la **expansión digital** y la diversificación de productos. Su apuesta por el comercio electrónico se consolidó con la adquisición de Marmota, una startup española especializada en la venta de colchones en línea, que le permitió reforzar su presencia en el canal digital. Además, la empresa ha lanzado nuevas colecciones que incluyen modelos híbridos y colchones enrollados, alineándose con las tendencias globales.

Otro pilar clave en su estrategia ha sido la sostenibilidad, participando en la iniciativa Ecolchón, un proyecto conjunto con Pikolin para fomentar la economía circular y la gestión responsable de los residuos de colchones.

Pikolin, por su parte, ha mantenido su **liderazgo** en el sector del descanso a través de una fuerte estrategia de marca e innovación. En términos de reconocimiento, ha superado a Flex en notoriedad, alcanzando un 47,5% de "Top of Mind" en el mercado español (Kantar, 2023).

Además, la marca ha apostado por la diversificación de productos con colchones inteligentes y tecnologías avanzadas que mejoran la calidad del descanso, como su gama de colchones con tecnología Termic®, que regula la temperatura según las condiciones ambientales.

En el mercado actual de colchones, se observa una clara tendencia hacia productos que combinan tecnologías avanzadas y materiales de alta calidad para mejorar la experiencia del descanso. Los consumidores buscan opciones que ofrezcan ergonomía, durabilidad y, cada vez más, sostenibilidad. Entre las categorías más destacadas se encuentran los colchones híbridos, los de espuma viscoelástica y los de látex natural.

Colchones híbridos

Los colchones híbridos representan una solución avanzada en el sector del descanso al combinar una estructura de soporte mediante muelles ensacados independientes con capas superiores fabricadas en materiales viscoelásticos, látex o espuma de alta densidad. Esta arquitectura proporciona una excelente combinación de estabilidad estructural, aislamiento de movimiento y adaptabilidad ergonómica (EBIA, 2021). En el segmento premium, los híbridos han alcanzado una cuota cercana al 40% del mercado, evidenciando su aceptación entre usuarios que priorizan confort técnico y rendimiento fisiológico. A continuación, se detallan algunos modelos destacados del mercado actual:

-Emma Hybrid Premium: Este modelo de la marca *Emma* integra una base de muelles ensacados de acero templado de alta resistencia con una capa superior de espuma viscoelástica HRX (High Resilience Extra), diseñada para optimizar la alineación de la columna y reducir puntos de presión. El sistema multizona proporciona soporte diferencial por áreas, mejorando la ergonomía en distintas posiciones de descanso.

-Hypnia Bienestar Superior: Desarrollado por *Hypnia*, este colchón está concebido para ofrecer confort dual. Su núcleo combina muelles ensacados reforzados con una capa de espuma viscoelástica de alta densidad (80 kg/m³), favoreciendo la independencia de lechos. El acolchado superior en espuma de soja natural mejora la transpirabilidad y minimiza la acumulación térmica.

-Zinus Hybrid Adaptive: *Zinus* apuesta por un sistema híbrido que combina resortes embolsados de acero al carbono con espuma viscoelástica y espuma adaptativa patentada *BioFoam*, compuesta parcialmente por extractos naturales. Este modelo proporciona una firmeza media con capacidad de absorción de movimiento y respuesta progresiva al peso corporal.

Colchones de espuma viscoelástica

La espuma viscoelástica, desarrollada inicialmente por la NASA en la década de 1960 para mejorar la seguridad y comodidad en los asientos de aeronaves, ha evolucionado hasta convertirse en un componente clave en la industria del descanso. Su estructura celular de poliuretano de alta densidad, modificada con aditivos que le otorgan propiedades termosensibles y viscoelásticas, permite que el material reaccione al calor corporal y se adapte con precisión al contorno del cuerpo. Esta adaptabilidad favorece una distribución uniforme del peso, reduce la presión sobre las articulaciones y mejora significativamente la calidad del sueño. Actualmente, algunos de los colchones más vendidos que emplean este material incluyen:

ZINUS Green Tea Memory Foam: Este modelo de la marca *ZINUS* es ampliamente reconocido por su enfoque en el descanso saludable. Incorpora una espuma viscoelástica infundada con extracto natural de té verde y aceite de ricino, lo que ayuda a neutralizar olores y mantener fresca prolongada. Su estructura multicapa incluye una base de espuma de soporte de alta densidad y una capa intermedia de transición, optimizada para absorber movimientos y mejorar la durabilidad.

Novilla Bliss 12" Gel Memory Foam Mattress: Fabricado por *Novilla*, este colchón utiliza una combinación de espumas de diferentes densidades para garantizar soporte progresivo y alivio de presión. La capa superior está compuesta por espuma viscoelástica con partículas de gel refrigerante, diseñada para disipar el calor corporal y mantener una temperatura de descanso equilibrada. Incluye además una funda de tejido transpirable tipo *bamboo rayon*, que favorece la ventilación.

Nectar Classic Memory Foam Mattress (12"): *Nectar Sleep* ofrece este modelo como una opción de firmeza media, ideal para usuarios que buscan una combinación entre soporte y adaptabilidad. La estructura incluye cinco capas, destacando una espuma viscoelástica de alta densidad y retorno lento, que proporciona una respuesta envolvente y un ajuste anatómico preciso. La cubierta exterior está tratada con tecnología *cooling action* que potencia la sensación de frescor.

Colchones de látex natural

La sostenibilidad y la salud medioambiental están influyendo cada vez más en las decisiones de compra de los consumidores del sector del descanso. En este contexto, los colchones de látex natural se posicionan como una alternativa ecológica de alto rendimiento frente a opciones sintéticas. El látex natural, derivado del árbol *Hevea Brasiliensis*, se caracteriza por ser un material biodegradable, hipoalergénico, resistente al moho y a los ácaros, además de ofrecer una gran elasticidad y durabilidad. Su estructura microcelular permite una excelente ventilación, lo que contribuye a regular la temperatura durante el sueño. Entre los modelos más valorados por sus prestaciones técnicas y su compromiso ambiental se encuentran:

Kipli – Colchón de Látex Natural: La marca *Kipli*, con sede en Francia e Italia, fabrica este colchón exclusivamente con látex 100% natural (sin aditivos sintéticos), certificado por GOLS (Global Organic Latex Standard). El núcleo bicapa (una capa de firmeza media y otra de firmeza alta) permite invertir el colchón para adaptar el nivel de soporte a las preferencias del usuario. La funda es de algodón orgánico y Tencel®, lo que potencia su transpirabilidad y reduce el impacto ambiental. No contiene muelles ni espumas derivadas del petróleo.

PlushBeds – Natural Talalay Latex Topper (3’): Este modelo de *PlushBeds*, fabricado en EE. UU., es un sobrecolchón de látex Talalay, considerado uno de los procesos más avanzados para obtener látex de alta pureza y homogeneidad. El topper ofrece varias configuraciones de firmeza (Soft, Medium, Firm, Extra-Firm) y está envuelto en una funda de viscosa de bambú, extremadamente suave y termorreguladora. Su uso se recomienda como capa superior en sistemas de descanso híbridos o sobre colchones base.

Sleep On Latex – Pure Green Natural Latex Mattress: Producido por *Sleep On Latex*, este colchón emplea látex natural Dunlop certificado GOTS/GOLS, con una estructura de célula abierta que mejora la circulación del aire. Disponible en tres niveles de firmeza, su núcleo de una sola pieza (sin capas pegadas) mejora la durabilidad y evita el uso de adhesivos sintéticos. Se presenta con una funda lavable de algodón orgánico acolchado con lana natural, que actúa como regulador térmico y retardante natural del fuego.

El mercado mundial de colchones atraviesa una fase de transformación profunda, impulsada por tres grandes vectores: digitalización, personalización y sostenibilidad. Las nuevas expectativas del consumidor, que prioriza experiencias de compra más ágiles, productos adaptados a sus necesidades físicas y materiales con menor impacto ambiental, están redibujando las estrategias de los fabricantes tradicionales y abriendo oportunidades para nuevas marcas nativas digitales. En este nuevo escenario, Flex y Pikolin, líderes históricos en el sector del descanso en España, han sabido reposicionarse con éxito mediante procesos de innovación y reestructuración empresarial:

Flex, con más de un siglo de historia, ha apostado por la digitalización del canal comercial, reforzando su presencia en plataformas de venta online y desarrollando herramientas de recomendación personalizadas basadas en inteligencia artificial y análisis biométrico. Además, ha incorporado criterios de ecodiseño y circularidad en parte de su catálogo, con líneas que incluyen materiales reciclables, núcleos de espumación sostenible y fundas con certificación OEKO-TEX® y GRS (Global Recycled Standard).

Pikolin, por su parte, ha destacado por una fuerte inversión en innovación de materiales. Ha desarrollado tecnologías propias como el sistema *Bultex Nano* (espuma de alta resiliencia y ventilación interna), o *Adapt-Tech® Zone* (muelles ensacados independientes con respuesta por zonas), orientadas a maximizar el confort postural y la durabilidad. A nivel estratégico, ha potenciado su red de producción local e internacional con fábricas en Europa y Asia, y ha fortalecido su identidad de marca mediante campañas centradas en salud, ergonomía y bienestar. (Fig.28)

	<i>PIKOLIN</i>	<i>FLEX</i>
<i>Fecha de constitución</i>	1948	1912
<i>Tamaño (empleados)</i>	3.000 (2018)	1.798 (2018)
<i>Ventas (ingresos)</i>	446 millones de € (2018)	351 millones de € (2018)
<i>Activos Totales</i>	515 millones de € (2018)	221 millones de € (2018)
<i>Solvencia (Ratio)</i>	1,97 (2018)	1,16 (2018)
<i>Rentabilidad financiera (Ratio)</i>	14,36% (2017)	37,35% (2018)
<i>Inicio Internacionalización (exportación)</i>	Años 80	Años 70

FIG. 28: TABLA COMPARATIVA PIKOLIN Y FLEX *Pikolin eleva su facturación a 446 millones y mantiene un ebitda positivo de 15 millones.*

España es uno de los principales mercados europeos en volumen de fabricación y exportación de sistemas de descanso. El país cuenta con una industria sólida y diversificada que, tras el impacto de la pandemia, ha acelerado su transición hacia modelos de negocio más ágiles y sostenibles. Según datos del sector, el canal online ha experimentado un crecimiento superior al 30% en los últimos tres años, mientras que las marcas han incrementado la inversión en investigación y desarrollo (I+D) para adaptarse a normativas ambientales y demandas de economía circular (ASEFAPI, 2023; ICEX, 2022).

Además, el consumidor español muestra una creciente sensibilidad hacia aspectos como la durabilidad del producto, la trazabilidad de los materiales y la reducción de la huella de carbono, lo que ha generado una expansión del mercado de colchones ecológicos y fabricados con látex natural, algodón orgánico o espumas vegetales.

La combinación de innovación tecnológica, integración vertical en la cadena de valor y un enfoque comercial multicanal convierte a España en un caso de referencia dentro del contexto europeo, tanto por su capacidad industrial como por su orientación hacia un descanso más consciente y sostenible.

CONCLUSIÓN

El sector del descanso atraviesa un momento de expansión y transformación profunda, marcado por tres ejes fundamentales: digitalización, personalización del producto y sostenibilidad. La creciente valoración social del descanso como factor clave para la salud ha impulsado el crecimiento del mercado mundial de colchones, que se encamina hacia una mayor sofisticación técnica y ambiental.

La evolución de los hábitos de compra —especialmente el auge del comercio electrónico y los modelos “bed in a box” — ha redefinido las dinámicas de distribución, obligando a los fabricantes a adoptar modelos logísticos más flexibles y orientados al cliente. Paralelamente, la demanda de colchones que integren ergonomía, adaptabilidad y eficiencia térmica ha promovido el auge de soluciones híbridas, viscoelásticas y de látex natural, todas con una fuerte componente tecnológica y de diseño consciente.

Marcas líderes como Flex y Pikolin representan el esfuerzo de la industria española por adaptarse a este entorno cambiante. Ambas han consolidado su posición a través de inversiones en I+D, incorporación de criterios ecológicos y expansión digital. Flex ha destacado por su apuesta por el canal online y la economía circular, mientras que Pikolin ha impulsado la innovación material y tecnológica, posicionándose como referente en confort térmico y postural.

A nivel global, los colchones ecológicos ganan cuota en un contexto de mayor exigencia ambiental, impulsado tanto por normativas como por la creciente sensibilidad del consumidor hacia productos duraderos, reciclables y con trazabilidad certificada. España, con una industria madura y capacidad exportadora sólida, se posiciona como uno de los líderes europeos en esta transición hacia un descanso más saludable, tecnológico y sostenible.

2. EL COLCHÓN COMO RESIDUO

La gestión de residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales retos de la sostenibilidad en entornos urbanos contemporáneos. En este contexto, los residuos voluminosos, y en particular los colchones domésticos fuera de uso, suponen una carga significativa tanto desde el punto de vista logístico como ambiental. Su naturaleza compleja, derivada de una composición heterogénea y de su volumetría, dificulta su tratamiento dentro de los sistemas convencionales de gestión de residuos. En paralelo, su frecuencia de reposición —estimada entre ocho y doce años— genera un flujo continuo de unidades que demandan soluciones eficientes y sostenibles.

En España, se calcula que se **desechan anualmente** entre 1,2 y 1,5 millones de colchones, lo que supone aproximadamente entre 35.000 y 50.000 toneladas de residuo cada año (Ecoembes, 2022; Fundación ECOLUM, 2021). Cada colchón ocupa un volumen medio de entre 0,6 y 0,75 metros cúbicos y presenta un peso estimado de 18 a 35 kilogramos, dependiendo de su tipología (muelles, espuma, híbrido, látex, etc.). Estos residuos no solo requieren sistemas de recogida y transporte específicos, sino que además generan dificultades en los centros de tratamiento por su baja compactabilidad, su resistencia estructural y la presencia de materiales potencialmente contaminantes, como retardantes de llama, adhesivos industriales o espumas sintéticas derivadas del petróleo (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MITERD, 2022).

La **inadecuada disposición** final de los colchones en vertederos —donde pueden tardar más de 80 años en degradarse— representa una fuente potencial de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, además de contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero durante su proceso de descomposición anaerobia. A ello se suma la problemática asociada a su abandono en espacios públicos, con las consiguientes implicaciones sanitarias, visuales y económicas para los municipios.

En coherencia con los principios de la economía circular, la valorización de residuos de colchones como recurso para la industria de la construcción representa una línea de innovación con alto potencial replicable. Diversos estudios han evidenciado que más del 75 % de los materiales presentes en un colchón son susceptibles de ser **recuperados y transformados**, especialmente espumas de poliuretano, muelles de acero y textiles no tejidos. En este sentido, la investigación se orienta hacia el análisis del ciclo de vida del colchón, la caracterización de sus materiales constituyentes y la exploración de su viabilidad como insumo en soluciones constructivas de bajo impacto ambiental, como sistemas de aislamiento térmico y acústico, capas técnicas en cubiertas o elementos prefabricados no estructurales.

2.1. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL COLCHÓN COMO RESIDUO

Desde un punto de vista técnico, el colchón constituye un producto de consumo duradero con una composición compleja, resultado de la integración de múltiples capas funcionales destinadas a proporcionar soporte, confort, ventilación, aislamiento térmico y resistencia mecánica. Estos materiales, unidos mediante adhesivos industriales, costuras o sistemas de termosellado, configuran una unidad de difícil desmontaje, tanto manual como mecánico, lo que complica su gestión al final de la vida útil. (Fig.29)

Las tipologías más comunes —colchones de muelles, colchones de espuma de poliuretano, colchones híbridos y colchones de látex— comparten una estructura básica estratificada que, si bien varía en proporciones y calidad de materiales, responde a un patrón generalizado en la industria del descanso. A continuación, se describen sus componentes principales: (Fig. 30)



FIG.29: ACUMULACIÓN DE RESIDUOS DE COLCHONES <https://galiciaambiental.org/gal/actualidad-ver/los-colchones-fuera-de-uso-un-problema-medioambiental-que-genera-toneladas-de-residuos>

a) Espumas flexibles de poliuretano (PU)

Las espumas de poliuretano (PU) constituyen el **componente más voluminoso** de los colchones, tanto en masa como en volumen, representando entre un 30 % y un 60 % del peso total, dependiendo del diseño, la densidad y el número de capas empleadas. Se trata de materiales con una densidad aparente típicamente comprendida entre 20 y 100 kg/m³, cuya estructura celular abierta o parcialmente abierta les confiere propiedades destacadas como una elevada compresibilidad, buena absorción de impactos, aislamiento acústico y una eficiencia térmica moderada. Estas características hacen que las espumas de PU se utilicen ampliamente en el sector del descanso, pero también que representen un reto significativo desde el punto de vista de su gestión como residuo (Randall & Lee, 2002; ECOS, 2020).

Desde un enfoque físico-mecánico, estas espumas ofrecen una gran capacidad de recuperación elástica tras la deformación, lo que las convierte en materiales muy adecuados para absorber cargas dinámicas. Su estructura porosa interna permite también una notable absorción acústica, ya que disipa la energía sonora mediante fricción del aire en los poros. En términos de aislamiento térmico, presentan valores de conductividad térmica λ en el rango de 0,035 a 0,045 W/m-K, lo que las hace viables para ciertos usos en edificación, especialmente en soluciones interiores o como capa de acompañamiento en sistemas multicapa. A su vez, su elasticidad específica y baja rigidez transversal las hace útiles como capa de desacoplamiento en sistemas constructivos de tabiquería seca, falsos techos, pavimentos flotantes o módulos prefabricados.

En cuanto a su composición química, las espumas de PU se producen por la **reacción** de poliols con diisocianatos (habitualmente TDI o MDI), en presencia de agentes espumantes, catalizadores y diversos aditivos. El resultado es un polímero termoestable con estructura reticulada tridimensional, lo que impide su fusión o reprocesado térmico convencional, como ocurre con los termoplásticos. Además, muchos productos comerciales contienen retardantes de llama, plastificantes, adhesivos u otros compuestos que pueden modificar su comportamiento técnico o dificultar su reciclaje.

Como **residuo**, estas espumas plantean retos notables debido a su baja densidad y elevada elasticidad, lo que dificulta su almacenamiento y transporte eficiente, además de hacer inviable su compactación mecánica sin tratamientos específicos. Su estructura termoestable impide su reciclaje por fusión, y su heterogeneidad compositiva —con mezclas de diferentes densidades, presencia de textiles adheridos o contaminaciones— complica aún más su procesamiento en plantas de tratamiento. Además, su inflamabilidad es un factor crítico, ya que en condiciones de combustión inadecuadas pueden liberar compuestos tóxicos como cianuros o monóxido de carbono.

Pese a estas dificultades, el material presenta oportunidades relevantes de valorización. Por un lado, el reciclaje mecánico permite triturar la espuma para utilizarla como relleno en tapicerías, paneles acústicos o materiales compuestos. Por otro, el reciclaje químico mediante procesos como la glicólisis permite recuperar los poliols originales, posibilitando su reincorporación a nuevos ciclos productivos. Finalmente, la valorización energética en instalaciones adecuadas puede aprovechar su contenido energético, aunque esta opción debe considerarse como última alternativa dentro de una jerarquía circular.

b) Muelles metálicos

Los colchones de muelles, aun ampliamente comercializados, incorporan entre un 10 % y un 20 % de acero en forma de espirales continuas, muelles ensacados o estructuras tipo Bonnell. Se trata generalmente de acero al carbono laminado en frío, con diámetros de hilo que varían entre 1,3 y 2,2 mm y longitudes que pueden alcanzar los 35 a 45 metros lineales por unidad. Este componente es altamente reciclable y puede recuperarse mediante separación magnética tras la fragmentación mecánica del colchón, para su reincorporación en cadenas siderúrgicas o para su uso como refuerzo metálico en compuestos no estructurales (EBIA, 2021; UNE-EN 1957:2013).

Cabe señalar que en el caso de los colchones con muelles embolsados individualmente (pocket springs), cada unidad se encuentra envuelta en una funda de tejido no tejido (TNT), lo que incrementa la complejidad del proceso de separación, requiriendo tecnologías automatizadas específicas.

c) Textiles

Los textiles empleados en la fabricación de colchones comprenden una **amplia variedad** de materiales, que incluyen tanto fibras naturales como sintéticas, y cuya disposición varía según la tipología, el nivel de confort y la gama del producto. Las capas externas o de revestimiento suelen estar compuestas por tejidos de poliéster, viscosa, algodón o mezclas técnicas que combinan propiedades estéticas, de transpirabilidad y resistencia al desgaste. En modelos de mayor calidad, también pueden incorporarse fibras naturales como el lino, el cáñamo, el bambú, o incluso lana y algodón orgánico, especialmente en colchones orientados a un público ecológicamente consciente. Por su parte, las capas internas o acolchados intermedios pueden contener fibras más técnicas o funcionales, como lanas minerales, fieltros reciclados, o textiles no tejidos utilizados para reforzar estructuras o generar zonas de transición.

El **peso total** de los textiles en un colchón puede representar entre un 10 % y un 25 % del peso total del producto, en función del número de capas, el grosor del acolchado, y la densidad de las fibras utilizadas. Esta proporción convierte al textil en un componente significativo tanto desde el punto de vista volumétrico como en términos de tratamiento al final de la vida útil del colchón (EBIA, 2021; Textile Exchange, 2022).

Desde el punto de vista de la gestión de residuos, los textiles presentan una complejidad elevada para su recuperación efectiva. Aunque muchas de las fibras empleadas son teóricamente reciclables, su contaminación con residuos de espuma de poliuretano, restos de adhesivos, cremalleras, tintes, tratamientos ignífugos, resinas de acabado, agentes antimicrobianos y otras sustancias químicas aplicadas durante su fabricación limita gravemente las posibilidades de reciclaje mecánico o químico directo. Además, los textiles suelen estar cosidos o laminados con otros materiales, lo que dificulta su separación automática sin procesos manuales intensivos o tecnologías de desmontaje selectivo aún poco implantadas en el sector.

d) Otros materiales y componentes

Látex natural o sintético: presente en porcentajes que varían entre el 5 % y el 15 %, dependiendo de si el colchón es completamente de látex o incorpora una capa superior para mejorar la elasticidad y la adaptabilidad. El látex natural es biodegradable, pero su recuperación depende de su grado de vulcanización y del tipo de aditivos empleados.

Geles termorreguladores o viscoelásticos: en modelos de alta gama, que mejoran la disipación térmica pero dificultan la separación por su comportamiento pegajoso.

Adhesivos industriales: utilizados para unir capas, muchas veces en forma de sprays o películas termoactivas, lo que impide la separación limpia de materiales y complica su reciclaje.

Capas ignífugas o antimicrobianas: a base de óxidos metálicos, retardantes halogenados o compuestos organofosforados, cuya presencia puede representar un riesgo ambiental y sanitario si no se identifican y tratan adecuadamente.



Tabla: Composición típica de colchones y potencial de reciclaje

Componente	% en masa (aprox.)	Material habitual	Reciclabilidad	Posible valorización
Espuma de poliuretano (PU)	30 % – 60 %	PU flexible o HR, viscoelástica, gel	● Media	Aislante acústico/térmico, relleno, paneles compuestos
Muelles (acero)	15 % – 25 %	Acero al carbono (muelles ensacados o continuos)	● Alta	Reciclaje férreo (chatarra), fusión, refabricación
Textiles de recubrimiento	10 % – 25 %	Poliéster, viscosa, algodón, lino, cáñamo	● Baja a ● Media	Aislantes acústicos, relleno de mobiliario, geotextiles
Látex natural o sintético	0 % – 20 %	Látex Dunlop o Talalay	● Media	Material amortiguador, bases acolchadas, aislantes
Adhesivos / pegamentos	1 % – 3 %	Hot-melt, PU, base solvente	● Muy baja	Dificultan el reciclaje, normalmente se desechan
Fibras naturales de relleno	0 % – 10 %	Lana, algodón, cáñamo, coco	● Media	Material aislante ecológico, acolchados reciclados
Componentes plásticos diversos	1 % – 3 %	Cremalleras, bordes, etiquetas, poliéster rígido	● Baja	Posible reciclaje si se separan, sino se eliminan

FIG.30: TABLA VALORACIÓN DE RECICLAJE DE LOS COLCHONES

En función del modelo, el diseño estructural de los colchones puede incorporar **refuerzos perimetrales** de espuma de alta densidad, marcos rígidos o cintas estabilizadoras que incrementan la rigidez lateral del conjunto. En determinados casos, especialmente en modelos de gama media-alta o destinados a uso hotelero o geriátrico, se incluyen además placas estabilizadoras elaboradas con MDF (tablero de fibra de densidad media), aglomerado o incluso estructuras metálicas parciales. Estos elementos están pensados para mejorar la durabilidad, la estabilidad dimensional y la resistencia mecánica del colchón a largo plazo.

No obstante, desde el punto de vista de su tratamiento como residuo, la inclusión de estos componentes aumenta considerablemente la **heterogeneidad material**, lo que dificulta la separación automatizada de las distintas fracciones. Además, los materiales como el MDF o el aglomerado, al estar aglutinados con resinas sintéticas, presentan limitaciones en su reciclaje, ya que no pueden reprocesarse fácilmente ni valorizarse térmicamente sin la emisión de contaminantes.

Esta complejidad estructural añade capas de dificultad técnica al desmontaje y tratamiento de los colchones al final de su vida útil, lo que se traduce en un incremento del coste unitario de reciclaje y en una menor eficiencia en las plantas de tratamiento que no disponen de sistemas de clasificación avanzada. Por ello, el análisis detallado de la composición estructural y la identificación de modelos con menor grado de heterogeneidad resultan claves para diseñar estrategias de reciclaje efectivas y económicamente viables dentro del marco de la economía circular.

CONCLUSIÓN

El colchón, como producto de consumo duradero, presenta una complejidad estructural que lo convierte en un reto significativo desde la perspectiva de la economía circular. Su diseño multicapa, concebido para ofrecer confort, soporte y durabilidad, implica la combinación de espumas, muelles, textiles, adhesivos y otros componentes funcionales que, si bien optimizan su rendimiento durante el uso, dificultan enormemente su desmontaje y tratamiento al final de su vida útil.

Las espumas de poliuretano, principales responsables del volumen total, suponen un desafío por su naturaleza termoestable, su baja densidad y su composición química heterogénea. Aunque existen vías de valorización mecánica y química, su reciclaje eficiente aún requiere soluciones tecnológicas avanzadas y económicamente viables. Los muelles metálicos, en cambio, ofrecen una oportunidad clara de recuperación por su valor intrínseco y facilidad de separación, salvo en los casos en los que se combinan con fundas textiles no separables.

Los textiles, presentes tanto en revestimientos como en acolchados, son uno de los componentes más problemáticos debido a su diversidad de fibras, tratamientos químicos y su difícil separación del resto de materiales. Además, otros elementos como látex, geles o refuerzos estructurales (como tableros MDF) aumentan la heterogeneidad del conjunto, comprometiendo la eficiencia del reciclaje automatizado y elevando los costes del proceso.

En resumen, la estructura material de los colchones actuales no está pensada para facilitar su circularidad. Ante este escenario, resulta urgente avanzar hacia un diseño más racionalizado, que reduzca la complejidad compositiva, incorpore materiales reciclables y permita el desmontaje eficiente. Solo así será posible desarrollar estrategias de reciclaje sostenibles, adaptadas a los objetivos ambientales y a los principios de una economía verdaderamente circular.

2.2. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL CV DEL COLCHÓN

Tabla – Emisiones de CO₂ por fase del ciclo de vida de un colchón

Fase del ciclo de vida	Descripción / materiales principales	Emisiones estimadas (kg CO ₂ eq / colchón)	% del total
1. Producción de espumas (PU / visco)	Poliolios y diisocianatos derivados del petróleo, espumado y curado	45 – 75	55–65 %
2. Producción de muelles (si aplica)	Acero al carbono, laminado y tratado térmicamente	7 – 12	10–15 %
3. Producción de textiles y acolchados	Poliéster, viscosa, algodón, con acabados químicos y cosido	3 – 6	5–8 %
4. Ensamblaje y acabado	Pegado, cosido, compactación, empaquetado	2 – 4	3–5 %
5. Transporte y distribución	Materias primas y producto final (media de distribución nacional/regional)	8 – 15	10–20 %
6. Fin de vida en vertedero	Descomposición lenta, emisiones de CH ₄ , CO ₂ , lixiviados, COV	20 – 40	15–25 %

Total estimado por colchón (medio) | Variable según modelo, materiales y logística | 85 – 150 kg CO₂ eq | 100 % |

FIG. 31: PRODUCCIÓN CO₂ COLCHÓN

Durante su vida útil, el colchón no presenta impactos ambientales directos especialmente relevantes, más allá de su posible contribución a la calidad del aire interior, derivada de la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV). Este fenómeno se observa principalmente en colchones recién fabricados que incorporan espumas de poliuretano o textiles tratados con aditivos químicos. Entre los COV más habituales se encuentran el formaldehído⁶, los isocianatos residuales, y ciertos plastificantes volátiles. Estos compuestos, aunque en concentraciones bajas, pueden afectar a la salud respiratoria, especialmente en espacios mal ventilados.

No obstante, es en la fase de disposición final donde el impacto ambiental del colchón se intensifica de manera más crítica. En Europa, pese a los avances normativos en materia de economía circular, una gran proporción de los colchones desechados sigue siendo enviada a vertederos o incineradoras, debido a la complejidad de su reciclaje, el elevado coste de su desmontaje y la ausencia de infraestructuras especializadas para su tratamiento integral. Se estima que, actualmente, entre el 60 % y el 80 % de los colchones usados no se reciclan de forma efectiva (EBIA, 2021; Ecomueble, 2022).

⁶ Compuesto orgánico volátil e incoloro con fuerte olor, utilizado como desinfectante y en la fabricación de resinas, pero potencialmente tóxico y cancerígeno.

En condiciones de vertedero, los colchones presentan un comportamiento ambiental especialmente problemático. Su estructura multicapa, formada por materiales de naturaleza diversa (espumas, muelles, textiles, adhesivos, polímeros, etc.), no sólo dificulta su compactación y aumenta el volumen ocupado, sino que ralentiza enormemente los procesos de descomposición. Dependiendo de su composición, un colchón puede tardar entre 80 y 120 años en degradarse completamente, durante los cuales se generan emisiones gaseosas y líquidos contaminantes. Entre los principales impactos ambientales en vertedero, cabe destacar:

Emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El metano se libera por degradación anaerobia de componentes naturales (fibras vegetales o restos orgánicos de relleno) y posee un potencial de calentamiento global 25 veces superior al CO_2 . En modelos mixtos que incorporan algodón, lino o cáñamo, la fermentación de estas fibras puede representar una fuente importante de CH_4 si no hay control del biogás.

Liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) de origen sintético, incluyendo disolventes, resinas de acabado y retardantes de llama halogenados, que al degradarse pueden emitir vapores tóxicos o persistentes, afectando al entorno inmediato del vertedero.

Formación de lixiviados tóxicos⁷, generados por el lavado de componentes solubles en agua, como aditivos industriales, plastificantes, colorantes o metales pesados presentes en partes metálicas o tratamientos textiles. Estos lixiviados pueden infiltrarse en acuíferos y contaminar aguas subterráneas si el vertedero carece de sistemas de impermeabilización y recogida adecuados.

Persistencia física de ciertos materiales como la espuma de poliuretano, que no se biodegrada y puede fragmentarse en microplásticos. Estos fragmentos, al dispersarse por acción del viento o del agua, pueden introducirse en ecosistemas circundantes y en cadenas tróficas.



FIG.32: FABRICACIÓN DE ESPUMAS DE POLIURETANO <https://interplasp.com/tag/vpf/>

⁷ Líquidos contaminantes que se generan al filtrarse agua a través de residuos, arrastrando compuestos peligrosos que pueden contaminar suelos y aguas subterráneas.

CONCLUSIÓN

Aunque durante su uso el colchón genera impactos ambientales relativamente bajos —limitados a la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en entornos cerrados— es en su fase de disposición final donde se concentran los efectos más críticos para el medio ambiente. La dificultad de desmontaje, la falta de infraestructura especializada y la heterogeneidad de materiales hacen que entre el 60 % y el 80 % de los colchones acaben en vertederos o incineradoras, lo que contradice los principios de la economía circular.

En vertedero, los colchones generan una serie de impactos negativos duraderos. Su lenta degradación, que puede superar el siglo, contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero como el metano —con un potente efecto climático— y a la liberación de compuestos tóxicos derivados de resinas, retardantes y adhesivos. Además, el lixiviado generado puede contaminar suelos y acuíferos si no se gestiona adecuadamente. La fragmentación de materiales no biodegradables, como la espuma de poliuretano, añade un riesgo emergente: la dispersión de microplásticos en ecosistemas naturales.

Este análisis evidencia la urgencia de rediseñar el colchón desde una lógica de sostenibilidad, priorizando materiales reciclables, procesos de ensamblaje reversibles y estrategias de gestión postconsumo eficientes para minimizar su huella ambiental.

2.3. COSTES ECONÓMICOS DE LA GESTIÓN DEL COLCHÓN COMO RESIDUO

La gestión de los colchones al final de su vida útil supone una carga económica notable para los sistemas municipales de recogida y tratamiento, debido a las características físicas de este residuo y a la complejidad de su reciclaje. Esta carga se descompone en una serie de costes directos e indirectos, cuya magnitud justifica la necesidad de establecer modelos de gestión específicos, sostenibles y adaptados a esta tipología de residuo.

Entre los **costes directos**, se destacan en primer lugar aquellos derivados del transporte especializado. El colchón, por su gran volumen y baja densidad, dificulta una gestión eficiente del espacio en los vehículos de recogida, lo que incrementa el número de viajes necesarios y, por tanto, el consumo de combustible y las emisiones asociadas. Además, su manipulación exige vehículos adaptados o servicios diferenciados dentro del sistema de recogida de residuos voluminosos.

Otro elemento crítico es el coste de mano de obra asociada a la **manipulación manual**. Los colchones requieren una intervención intensiva en cuanto a desmontaje, separación de materiales y clasificación de componentes —muelles metálicos, espumas de poliuretano, textiles, entre otros—, ya que no pueden ser tratados de forma mecanizada como otros residuos domésticos. Esta necesidad de personal especializado eleva de forma considerable los costes operativos del reciclaje.

Asimismo, debe contemplarse el coste asociado a la adecuación de espacios para almacenamiento intermedio, indispensables para la gestión logística del residuo. Estos espacios requieren condiciones específicas de seguridad, ventilación y protección frente a incendios, así como una planificación adecuada del flujo de entrada y salida del material, lo que implica inversiones en infraestructura o en alquiler de naves industriales.

En cuanto a los **costes indirectos**, estos incluyen efectos colaterales derivados de una gestión inadecuada o insuficiente. Por un lado, la saturación de puntos limpios y áreas de aportación ciudadana, que repercute negativamente en la eficiencia del servicio público y en la percepción ciudadana de la calidad del entorno urbano. Por otro lado, se constata un aumento de prácticas de abandono ilegal de colchones en espacios públicos, lo cual no solo genera un impacto visual negativo, sino que además compromete la salubridad urbana y la seguridad en determinados barrios, obligando a actuaciones correctivas por parte de los servicios municipales.

A esta realidad se suma el hecho de que el **coste medio de tratamiento de un colchón** oscila entre los 15 y los 40 euros por unidad, según diversos estudios técnicos comparativos. Esta horquilla de precios responde a múltiples variables (EBIA, 2021; Fundación ECOLUM, 2021; WRAP UK, 2020).

La primera de ellas es la tipología del colchón: los modelos de muelles, por ejemplo, contienen componentes metálicos que, si bien tienen valor en el mercado del reciclaje, requieren de un proceso manual de separación; los colchones de espuma viscoelástica o de poliuretano, por su parte, presentan mayores dificultades de valorización debido a su composición química y a la presencia de aditivos que complican su reciclado; los colchones híbridos, que combinan distintos materiales (muelles, espumas, látex), exigen procesos más complejos y prolongados de desmontaje, lo que incrementa notablemente los costes de tratamiento.

En segundo lugar, influye de forma decisiva el **contexto normativo y fiscal** en el que se sitúe el tratamiento: la existencia de normativas que fomenten el ecodiseño o impongan responsabilidades ampliadas al productor (RAP) puede contribuir a reducir la carga económica directa para las administraciones locales. Asimismo, la posibilidad de aplicar incentivos o exenciones fiscales a operadores que integren procesos de reciclaje de colchones puede generar un entorno más favorable para la optimización de costes.

Otro factor relevante es la **proximidad** a plantas de reciclaje especializadas. La disponibilidad de infraestructuras adecuadas en el entorno geográfico inmediato reduce los costes logísticos, mientras que su ausencia obliga a transportar el residuo a largas distancias, lo que impacta directamente sobre el coste final del tratamiento. En muchos casos, la inexistencia de centros de valorización cercanos actúa como una barrera estructural para el desarrollo de modelos circulares eficaces.

Por último, el **grado de madurez del sistema local de gestión de residuos** y el nivel de tecnificación de las instalaciones determinan la eficiencia del proceso. Las plantas que disponen de tecnologías específicas para el desmontaje automatizado, la trituración selectiva y la clasificación por materiales son capaces de reducir los tiempos de procesamiento y aumentar el rendimiento económico del reciclaje. En contextos menos desarrollados, donde estas operaciones deben realizarse de forma manual y sin medios técnicos avanzados, el coste por unidad tratada se dispara. (Fig. 33)

En términos comparativos, estos costes son significativamente más elevados que los de otros residuos domésticos, lo que subraya la necesidad urgente de desarrollar estrategias específicas de valorización que no solo mitiguen los impactos ambientales y sociales de este residuo, sino que además contribuyan a su integración en cadenas de valor productivas como las de la construcción sostenible. La transición hacia modelos de economía circular exige, en este sentido, no solo soluciones tecnológicas, sino también políticas públicas que incentiven la recogida diferenciada, la investigación aplicada y la creación de mercados para los materiales reciclados procedentes de colchones.



FIG.33: RECOGIDA DE COLCHONES EN A CORUÑA <https://gestanconteco.com/2020/10/05/recogida-colchones-coruna-gestan-conteco/>

CONCLUSIÓN

La gestión de colchones desechados constituye un desafío técnico, económico y ambiental de creciente relevancia para los sistemas públicos de residuos. A diferencia de otros residuos domésticos, el colchón combina una elevada heterogeneidad material con un gran volumen físico y una baja densidad, lo que incrementa considerablemente los costes de recogida, transporte y tratamiento. Esta complejidad se traduce en una carga financiera significativa para las administraciones locales, con costes por unidad tratada que oscilan entre 15 y 40 euros, dependiendo del tipo de colchón, los medios técnicos disponibles y el contexto normativo vigente.

Entre los factores que explican estos costes se encuentran el uso de materiales difíciles de separar, como espumas, muelles, textiles y adhesivos, que requieren procesos manuales o tecnologías especializadas de desmontaje. La manipulación intensiva, la necesidad de almacenamiento intermedio y la adecuación de espacios logísticos incrementan aún más el coste operativo del tratamiento. A ello se suma la escasez de plantas de reciclaje específicas en muchas regiones, lo que obliga a transportar los colchones a largas distancias, elevando las emisiones asociadas y reduciendo la eficiencia económica del proceso.

Los costes indirectos también son notables: la saturación de puntos limpios, el abandono en espacios públicos y la percepción negativa de los ciudadanos generan un impacto adicional sobre la gestión urbana, exigiendo actuaciones correctivas y recursos extraordinarios por parte de los municipios.

2.4. PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA DE RECICLAJE

A pesar de **potencial de valorización material** que presentan los colchones fuera de uso, su reciclaje a gran escala aún enfrenta barreras estructurales significativas. Estas limitaciones operan en múltiples niveles: desde la propia configuración material del producto, hasta la infraestructura técnica disponible, pasando por condicionantes normativos, económicos y socioculturales. A continuación se examinan las principales barreras que impiden actualmente una gestión eficiente y circular de este residuo voluminoso:

Uno de los principales **obstáculos técnicos** para el reciclaje de colchones estriba en la dificultad de su **desmontaje manual**, necesario para la separación efectiva de las fracciones reciclables. El proceso de desensamblado puede requerir entre 10 y 15 minutos por unidad, dependiendo de la tipología del colchón, el número de capas, el tipo de adhesivos utilizados y el grado de compactación de los materiales. A diferencia de otros productos reciclables que permiten una trituración directa, los colchones exigen una intervención previa por operarios cualificados, lo cual encarece significativamente los costes de tratamiento y reduce la eficiencia del proceso.

Además, los colchones de tipo híbrido o con muelles embolsados presentan una complejidad adicional: cada muelle individual se encuentra encapsulado en una funda de tejido no tejido (TNT), que impide su separación mecánica convencional y obliga a procesos más sofisticados (actualmente escasos en la mayoría de los países europeos).

Otro factor crítico que dificulta la recuperación de materiales es la **fuerte adherencia entre capas** provocada por el uso de adhesivos industriales termoactivables⁸ o en spray, cuya función original es garantizar la integridad estructural del colchón. Estos adhesivos (muchos de los cuales no son solubles ni biodegradables) imposibilitan una separación limpia de las fracciones materiales, generando mezclas residuales de baja calidad.

Asimismo, una parte significativa de los colchones incorpora **retardantes de llama** bromados, clorados u organofosforados, especialmente en aquellos modelos comercializados antes de la adopción de normativas más restrictivas en materia de seguridad química. Estos aditivos, considerados persistentes y potencialmente tóxicos, no solo suponen un problema en vertedero, sino que inviabilizan el uso posterior de los materiales reciclados en sectores sensibles como la construcción o el mobiliario, salvo que se lleven a cabo tratamientos específicos de descontaminación.

En la mayoría de las regiones europeas, el tratamiento de colchones se lleva a cabo en centros de tratamiento de residuos voluminosos (CTR) no especializados, donde los colchones son triturados sin separación previa o, en el mejor de los casos, dirigidos directamente a vertedero. Son muy escasas las instalaciones que disponen de líneas específicas de desmontaje o que hayan automatizado parcial o totalmente el proceso, lo que limita la recuperación efectiva de materiales de calidad.

Además, la ausencia de un flujo específico de recogida selectiva para colchones —como sí ocurre con residuos eléctricos o envases— provoca que este residuo se mezcle con otros tipos de residuos, contaminando potencialmente las fracciones aprovechables y reduciendo su pureza. Esta limitación logística se ve agravada por la baja densidad del colchón, que lo hace costoso de almacenar y transportar en términos volumétricos, con ratios de carga por vehículo muy inferiores a otros residuos urbanos.

Desde una perspectiva legal, el colchón no está tipificado como flujo prioritario de reciclaje en la mayoría de marcos legislativos nacionales ni europeos, lo que implica la ausencia de obligaciones específicas para fabricantes, distribuidores o gestores de residuos en relación con su fin de vida útil. A diferencia de productos como aparatos eléctricos (RAEE), vehículos o envases, los colchones no se encuentran sujetos a esquemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) en la mayoría de los países, lo que desincentiva la creación de sistemas integrados de gestión.

Esta falta de regulación específica también dificulta el acceso de los materiales reciclados procedentes de colchones a mercados secundarios, ya que no existen normas técnicas armonizadas que certifiquen su aptitud para usos concretos, por ejemplo, como aislante térmico en edificación. Sin una trazabilidad clara, los productos reciclados no pueden competir en igualdad de condiciones con los materiales vírgenes o industriales certificados.

A las **barreras técnicas y normativas** se suma una barrera de mercado: la limitada demanda de materiales reciclados procedentes de colchones en sectores industriales clave como el de la automoción, el mueble o la construcción. Esta baja demanda se debe, en parte, a la falta de conocimiento sobre las propiedades técnicas de estos materiales, así como a la desconfianza respecto a su seguridad, durabilidad o compatibilidad normativa.

Por otra parte, la **ausencia de etiquetas** o certificaciones específicas que validen el origen, composición y rendimiento de los materiales reciclados (por ejemplo, espumas de poliuretano triturado o textiles no tejidos posconsumo) limita su aceptación por parte de prescriptores técnicos, arquitectos, ingenieros y fabricantes de productos industriales. La incorporación de estos materiales en productos nuevos, sin una normativa clara de admisión, plantea además riesgos legales para el fabricante final.

CONCLUSIÓN

El reciclaje de colchones enfrenta múltiples barreras técnicas, normativas y de mercado. La complejidad del desmontaje, la heterogeneidad de materiales y el uso de adhesivos industriales dificultan una separación eficiente, elevando los costes. La falta de infraestructuras especializadas, normativas específicas y esquemas de responsabilidad del productor impide una gestión diferenciada y eficaz. Además, la escasa demanda de materiales reciclados, debido a la falta de estándares y certificaciones, limita su incorporación en sectores como la construcción o el mueble. Superar estas barreras requiere soluciones integradas que combinen innovación tecnológica, regulación clara y estímulo a los mercados secundarios.

⁸ Se endurecen de forma irreversible al aplicar calor

2.5. VALLADOLID CASO DE ESTUDIO

La ciudad de Valladolid, con una población cercana a los 300.000 habitantes, representa un caso de especial interés para el análisis de políticas urbanas de sostenibilidad, particularmente en lo relativo a la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU). El municipio dispone de competencias directas en la recogida, tratamiento y valorización de estos residuos, responsabilidad que ejerce a través del Servicio Municipal de Limpieza y del Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos (CTR), ubicado en el término municipal de Valladolid.

Según datos recogidos en informes técnicos municipales, la generación anual de residuos en la ciudad se sitúa en torno a las 150.000 toneladas, una cifra que ha mostrado cierta estabilidad en los últimos años, con ligeras fluctuaciones atribuibles a factores coyunturales como la pandemia de COVID-19 o variaciones en los hábitos de consumo. En términos de composición, la fracción orgánica continúa siendo la mayoritaria (alrededor del 40 % del total), seguida de papel y cartón (20 %), plásticos (15 %), vidrio (10 %) y otras fracciones diversas, entre las que se incluyen los residuos voluminosos como muebles, electrodomésticos y colchones fuera de uso (Red Española de Ciudades por el Clima, 2021)..

La gestión de este último grupo de residuos presenta particularidades operativas relevantes. Según fuentes del Ayuntamiento, cada año se generan en la ciudad aproximadamente 130.000 unidades de residuos voluminosos (FEMP, 2022). No obstante, cerca del 75 % de ellos son abandonados en la vía pública sin previo aviso ni canalización a través de los puntos limpios establecidos, lo que genera importantes disfuncionalidades en el sistema de limpieza urbana y un incremento de los costes operativos. Este dato refleja una desconexión persistente entre los servicios municipales disponibles y las prácticas reales de la ciudadanía, a pesar de la existencia de sistemas de recogida programada y puntos de entrega específicos para este tipo de residuo.

En el caso concreto de los colchones, la problemática se agrava por la naturaleza compleja de estos productos. Como se ha dicho un colchón estándar puede ocupar entre 0,6 y 0,75 m³ y pesar entre 18 y 35 kg, lo que dificulta su almacenamiento, transporte y tratamiento posterior. Su composición, basada en materiales como espumas de poliuretano, muelles de acero y textiles sintéticos, complica su reciclaje, ya que requiere desmontaje manual o tecnologías específicas de separación y limpieza. A pesar de que los puntos limpios municipales permiten la entrega de colchones —habitualmente con un límite de dos unidades por visita—, la tasa de aprovechamiento efectivo de estos residuos continúa siendo baja.

Además, la ciudad ha puesto en marcha campañas de sensibilización ciudadana en colaboración con asociaciones vecinales, como la desarrollada con la Asociación Vecinal Rondilla, que incluyó la distribución de 12.000 dípticos y visitas informativas a establecimientos comerciales y hosteleros (Ayuntamiento de Valladolid, 2023). Estas acciones se complementan con nuevas políticas fiscales, como la implantación —prevista para enero de 2025— de una tasa de residuos domésticos vinculada a criterios de proporcionalidad y responsabilidad ambiental, con bonificaciones para familias con bajos ingresos, unidades de convivencia numerosas o participantes en programas de compostaje domiciliario.

A pesar de estos esfuerzos, los desafíos siguen siendo considerables. Informes recientes indican que más del 80 % de los residuos que llegan al CTR de Valladolid acaban depositándose en vertedero, sin que se haya logrado aún una tasa significativa de reciclaje o valorización material.

Este dato evidencia la necesidad de inversiones adicionales en infraestructuras de separación, líneas de tratamiento específicas para residuos complejos y mecanismos efectivos de responsabilidad ampliada del productor, especialmente en sectores como el descanso y el mobiliario.

En definitiva, Valladolid constituye un laboratorio urbano relevante para el análisis de la transición hacia un sistema de gestión de residuos más eficiente, justo y circular. Sus iniciativas recientes, tanto en el plano técnico como normativo, abren una vía prometedora para la valorización de materiales tradicionalmente considerados como no reciclables, como los colchones fuera de uso. La integración de actores públicos, sociales y académicos en esta estrategia representa una condición necesaria para el éxito de modelos replicables en otros contextos metropolitanos de dimensión intermedia.

Categoría	Valor estimado	Fuente
Población de Valladolid	~300.000 habitantes	Ayuntamiento de Valladolid (2023)
Generación anual total de RSU	150.000 – 155.000 toneladas	CTR Valladolid / Memoria municipal
Fracción orgánica	~40 % del total	CTR Valladolid
Papel y cartón	~20 % del total	CTR Valladolid
Plásticos	~15 % del total	CTR Valladolid
Vidrio	~10 % del total	CTR Valladolid
Otros residuos (incl. voluminosos)	~15 % del total	CTR Valladolid
Unidades de voluminosos desechadas/año	~130.000 unidades	Diario de Valladolid (2023)
% de colchones y voluminosos abandonados	~75 % fuera de canal oficial (vía pública)	Ayuntamiento de Valladolid
Peso medio de un colchón	18 – 35 kg	WRAP / ISPA
Volumen medio de un colchón	0,6 – 0,75 m ³	Análisis técnico del sector
% de residuos en CTR que acaban en vertedero	>80 %	Circular Economy Foundation (2022)
Número máximo de colchones por entrega	2 unidades por visita a punto limpio	Ayuntamiento de Valladolid
Campañas de sensibilización activas	12.000 dípticos / 2023 – Asociación Vecinal Rondilla	Prensa local
Nueva tasa de residuos (2025)	51,25 € fija + parte variable según empadronados y m ²	Ayuntamiento de Valladolid (2024)

FUENTES: AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID Y CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS VALLADOLID <http://www.ctrvalladolid.com/>
<https://www.valladolid.es/es>

CONCLUSIÓN

Valladolid ejemplifica los retos y oportunidades de una gestión urbana más sostenible de residuos voluminosos, en particular de colchones fuera de uso. Pese a contar con infraestructuras municipales y campañas de sensibilización, persiste un elevado abandono en vía pública y una baja tasa de reciclaje, con más del 80 % de los residuos destinados a vertedero. Las características físicas y materiales de los colchones agravan esta situación, demandando soluciones específicas. Las iniciativas fiscales, educativas y normativas impulsadas por el Ayuntamiento, junto con la colaboración ciudadana y académica, sitúan a Valladolid como un laboratorio clave para ensayar políticas de economía circular aplicables a otras ciudades de tamaño medio.

3.EL RECICLAJE DE COLCHONES

La gestión del colchón como residuo no puede entenderse únicamente desde la óptica técnica o industrial, sino que debe contemplarse como un proceso complejo que implica la intervención coordinada de diversos actores institucionales y sociales. En este entramado, adquieren especial relevancia las administraciones públicas locales, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y del tercer sector, así como los distribuidores y puntos de venta, cada uno con funciones específicas y responsabilidades complementarias en la transición hacia un modelo de economía circular.

Las **administraciones locales**, y en particular los ayuntamientos, desempeñan un papel esencial en la operativa de recogida, almacenamiento y tratamiento de residuos voluminosos, entre los que se incluyen los colchones domésticos fuera de uso. En la mayoría de los contextos urbanos, los colchones son gestionados a través de servicios municipales directos o externalizados, mediante sistemas de recogida programada, puntos limpios o centros de transferencia. A través de sus competencias, los ayuntamientos regulan además el abandono indebido en la vía pública, la tipología de residuos admitidos y las condiciones de entrega. Su capacidad para implementar campañas de sensibilización ciudadana, incorporar cláusulas de compra pública sostenible o fomentar proyectos piloto innovadores resulta determinante para el éxito de las políticas locales de circularidad. (Fig.34)

Por su parte, las **organizaciones del tercer sector**, incluidas ONG, cooperativas y entidades de economía social, constituyen un agente clave en la preparación para la reutilización y la generación de empleo verde. Estas entidades han desarrollado en las últimas décadas modelos de recogida y reacondicionamiento de colchones en condiciones aceptables, orientados tanto a su donación a colectivos en situación de vulnerabilidad como a su transformación en nuevos productos. La actividad de estas organizaciones contribuye a reducir el volumen de residuos dirigidos a vertedero, al tiempo que introduce criterios sociales en la cadena de gestión, facilitando procesos de inserción laboral para personas en riesgo de exclusión. Su conocimiento del entorno local, su flexibilidad operativa y su arraigo comunitario las convierten en aliadas estratégicas para la administración pública en el despliegue de soluciones circulares y justas.

Finalmente, los **distribuidores y puntos de venta de colchones** —grandes superficies, minoristas o plataformas digitales— tienen también un rol relevante en la generación y posible gestión de este residuo. Su posición en el inicio del ciclo de vida del producto les otorga una capacidad única para incidir en el diseño, la trazabilidad y la recogida postconsumo. En algunos países, los distribuidores están obligados a ofrecer la retirada gratuita del colchón antiguo en el momento de la entrega del nuevo, medida que no solo facilita la correcta canalización del residuo sino que favorece su trazabilidad. Además, el sector de la distribución puede actuar como difusor de información sobre las opciones de reciclaje y las implicaciones ambientales del producto, e incluso establecer alianzas con gestores autorizados o iniciativas de reutilización. Su implicación activa es, por tanto, fundamental para garantizar un enfoque de corresponsabilidad compartida en la gestión del colchón como residuo.

En conjunto, la articulación eficaz de estos actores —públicos, sociales y comerciales— resulta imprescindible para el desarrollo de un sistema integrado de gestión que no solo minimice los impactos ambientales del colchón al final de su vida útil, sino que también promueva su valorización material, genere empleo local y contribuya al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad urbana. Solo desde una gobernanza colaborativa será posible avanzar hacia una gestión más eficiente, equitativa y circular de este residuo.



FIG.34: COLCHONES EN LAS CALLES DE ALCORCÓN <https://alcorconhoy.com/proyecto-para-instalar-planta-reciclaje-colchones-sofas-y-ropa-alcorcon>

3.0.1. VIAS GENÉRICAS DE RECICLAJE

La gestión de los colchones fuera de uso representa uno de los retos más complejos en la cadena de valorización de residuos voluminosos. Su morfología, compuesta por múltiples capas de materiales adheridos, y su elevada ocupación volumétrica dificultan su recolección, almacenamiento, transporte y procesamiento. Sin embargo, la diversidad de materiales que contienen —especialmente espumas poliméricas, textiles técnicos y acero de muelles internos— abre la puerta a su tratamiento específico mediante tecnologías de reciclaje mecánico, químico o energético. A continuación se detallan las principales vías genéricas de reciclaje de los tres materiales predominantes, evaluando su potencial en función de criterios técnicos, ambientales y económicos:

1. Reciclaje de espumas (poliuretano, viscoelástica, látex).

Las espumas presentes en los colchones representan entre el 30 % y el 60 % de su peso total. Se emplean mayoritariamente espumas de poliuretano flexible (PU), espumas viscoelásticas y, en menor medida, látex natural o sintético. Estas espumas están formuladas a partir de polímeros derivados del petróleo y presentan una estructura celular compleja, con aditivos como retardantes de llama, colorantes, plastificantes o estabilizadores, lo que dificulta su reciclaje directo.

Reciclaje mecánico: Este proceso consiste en la trituración de la espuma en partículas de diferente granulometría, las cuales pueden prensarse, aglomerarse o moldearse para formar nuevos productos. Se trata de un procedimiento ampliamente implantado y de bajo coste.

Aplicaciones frecuentes: Rellenos para tapicería (sofás, sillones, cojines técnicos), Subcapas para alfombrado (underlay) en edificación, Aislantes acústicos en particiones interiores, Paneles termoacústicos de baja densidad.

Reciclaje químico: Esta vía se encuentra aún en fase piloto en muchos contextos europeos. Mediante procesos como la glicólisis⁹, hidrólisis¹⁰ o aminólisis¹¹, las espumas pueden descomponerse en sus monómeros originales o en oligómeros aprovechables como materia prima.

2. Reciclaje de textiles (fibras sintéticas y naturales).

El recubrimiento externo del colchón está formado por tejidos mixtos, que combinan fibras sintéticas como el poliéster o el polipropileno con fibras naturales como el algodón, la lana o el lino, en diferentes proporciones. También puede haber elementos de refuerzo, acolchados o tratamientos químicos superficiales.

Reciclaje mecánico: Los textiles pueden recuperarse mediante procesos de desfibrado o deshilado, tras una separación manual o automatizada de las capas externas del colchón. A partir de este material reciclado, es posible producir: geotextiles para obra civil, fieltros aislantes en construcción y automoción, mantas térmicas para cubiertas o divisiones interiores, nuevas fibras para hilado (en menor medida, por degradación de calidad).

Este reciclaje es viable siempre que las fibras no estén altamente contaminadas ni combinadas con adhesivos o tratamientos resistentes al fuego que dificulten su recuperación.

Reciclaje térmico y valorización energética: Cuando los tejidos no son aptos para su recuperación mecánica, pueden emplearse como combustible alternativo en instalaciones de valorización energética controlada, especialmente los sintéticos con alto poder calorífico. Esta vía, aunque menos deseable en términos circulares, permite al menos recuperar parte de la energía contenida en los residuos textiles.

⁹ Se descompone la espuma de poliuretano usando glicoles

¹⁰ Una molécula se descompone por acción del agua

¹¹ Se descompone por la acción de una amina

3.Acero (muelles y estructuras internas)

En los colchones tradicionales de muelles, los elementos estructurales metálicos representan entre el 10% y el 25% del peso total, siendo normalmente acero al carbono o acero templado de alta resistencia.

Reciclaje metalúrgico: El proceso consiste en la separación manual o magnética de los muelles y piezas metálicas, prensado y clasificación por tipología, fundición en acerías para su transformación en productos metálicos nuevos.

El acero reciclado mantiene propiedades mecánicas de alto nivel, lo que permite su reintegración en sectores como automoción, construcción o maquinaria. Además, su reciclaje evita la extracción de mineral de hierro y supone un ahorro energético del 74% respecto a la producción primaria.

CONCLUSIÓN

La gestión eficiente de colchones fuera de uso exige una gobernanza colaborativa entre administraciones locales, entidades del tercer sector y distribuidores. Cada actor cumple un rol clave: los municipios aseguran la recogida y sensibilización; las ONG aportan experiencia en reutilización y empleo social; y los distribuidores facilitan la recogida postventa y pueden promover el ecodiseño.

A nivel técnico, existen tres vías principales de reciclaje: el tratamiento mecánico de espumas y textiles, el reciclaje químico aún incipiente y la recuperación metalúrgica del acero. Aunque estas rutas permiten valorizar buena parte de los materiales, requieren infraestructuras especializadas y mejoras normativas para su consolidación. Solo mediante esta articulación institucional y técnica será posible avanzar hacia un modelo verdaderamente circular y justo en la gestión de colchones.

3.1. EEUU EL MATTRESS RECYCLING COUNCIL

La **gestión de colchones fuera de uso** constituye uno de los desafíos más complejos en el ámbito de los residuos voluminosos, debido tanto a sus características morfológicas y materiales como a la ausencia, en muchos contextos, de infraestructuras logísticas adecuadas para su tratamiento. El elevado volumen que ocupan, su difícil compactación, la presencia de materiales heterogéneos adheridos mediante adhesivos, así como la dificultad de desmontaje automatizado, convierten a estos residuos en una tipología especialmente problemática para los sistemas convencionales de recogida y valorización. En este contexto, resulta particularmente relevante el caso de Estados Unidos, donde se ha desarrollado, en los últimos años, una estructura operativa robusta para el reciclaje de colchones, basada en marcos legislativos específicos, esquemas de responsabilidad ampliada del productor y una red consolidada de instalaciones industriales dedicadas a su desmontaje y transformación.

El referente institucional más destacado en el contexto estadounidense es el **Mattress Recycling Council (MRC)**, una entidad sin ánimo de lucro creada en 2013 por la *International Sleep Products Association (ISPA)*, cuya finalidad es gestionar, coordinar y supervisar el reciclaje de colchones en aquellos estados que han adoptado legislación específica al respecto (Extended Producer Responsibility, EPR). A través de su programa denominado *Bye Bye Mattress*, operativo desde 2015, el MRC implementa un sistema de recogida, tratamiento y valorización de colchones en tres estados: California, Connecticut y Rhode Island. Estos estados han establecido, mediante normativa, la obligatoriedad del reciclaje de colchones en el marco de políticas de responsabilidad ampliada del productor (Extended Producer Responsibility, EPR), por las cuales los fabricantes y distribuidores asumen, directa o indirectamente, los costes asociados a la gestión del residuo. Dicho sistema se financia a través de una ecotasa aplicada en el momento de la compra de colchones nuevos, cuya cuantía oscila entre 9 y 16 dólares por unidad, y permite sostener una infraestructura operativa que abarca desde los puntos de recogida hasta las plantas de reciclaje.

Desde la puesta en marcha del programa *Bye Bye Mattress*, se han reciclado más de **doce millones de colchones** en los tres estados adheridos, evitando con ello el vertido de millones de metros cúbicos de residuos y recuperando más del 75% de los materiales contenidos en cada unidad. Solo en el estado de California, que presenta el mayor volumen operativo, se han tratado más de nueve millones de unidades, con la consiguiente generación de más de 250 empleos directos vinculados al reciclaje y la transformación de estos productos. La estimación acumulada de emisiones de gases de efecto invernadero evitadas desde 2015 supera las 600.000 toneladas equivalentes de CO₂, lo cual da cuenta del impacto positivo de esta estrategia desde una perspectiva ambiental. (Fig. 35)

El proceso de reciclaje en Estados Unidos se caracteriza por su enfoque pragmático y altamente sistematizado. La primera fase consiste en la recogida de colchones en puntos autorizados, que pueden ser tanto instalaciones municipales como comercios minoristas. Posteriormente, los colchones son transportados a plantas especializadas donde se lleva a cabo su desmontaje manual o semiautomatizado. Este proceso permite separar con eficacia las principales fracciones materiales: los muelles metálicos, generalmente fabricados en acero al carbono, son extraídos mediante técnicas mecánicas y magnéticas y enviados al reciclaje metalúrgico; las espumas de poliuretano flexible y viscoelástica se trituran y reutilizan como relleno en productos industriales (moquetas, paneles acústicos, almohadas); mientras que las capas textiles, aunque más difíciles de recuperar, se destinan a la producción de fieltros técnicos o se emplean como componentes de bajo valor añadido en el sector de la automoción o la obra civil.

Entre las empresas operadoras más relevantes en este ecosistema destaca **DR3 Recycling**, fundada en 1999 y considerada actualmente la mayor recicladora de colchones de Estados Unidos. Esta entidad, de carácter social y sin ánimo de lucro, gestiona una red de más de diez centros en la costa oeste, especialmente en California, donde colabora estrechamente con el MRC. Con una capacidad anual de procesamiento de más de 400.000 colchones y una tasa de recuperación de materiales que alcanza el 85% en algunas instalaciones (MRC, 2023; DR3, 2022). *DR3 Recycling* representa un modelo de referencia en cuanto a eficiencia operativa, innovación en procesos y generación de empleo inclusivo. Cabe señalar que parte significativa de su personal forma parte de programas de inserción laboral, lo que añade una dimensión social a su impacto ambiental. Los tiempos de desmontaje por unidad oscilan entre cinco y diez minutos, dependiendo del tipo de colchón, su estado de conservación y el grado de automatización implementado.

El éxito del modelo estadounidense de reciclaje de colchones se debe, en gran medida, a la conjunción de varios factores estructurales. En primer lugar, la existencia de un marco legal específico que obliga a reciclar este tipo de residuo y que establece las condiciones de financiación mediante ecotasas. En segundo lugar, una red logística bien articulada y territorialmente distribuida, con más de 300 puntos de recogida solo en California. En tercer lugar, la cooperación efectiva entre actores públicos, privados y del tercer sector, que permite compartir responsabilidades y reducir costes. Por último, la existencia de estándares técnicos y manuales operativos desarrollados por el MRC ha facilitado la formación de los operarios, la estandarización de procesos y la replicabilidad del modelo.

No obstante, a pesar de los avances, el sistema enfrenta todavía limitaciones importantes. En particular, la gestión de colchones contaminados con fluidos biológicos o plagas, así como aquellos fabricados con tecnologías híbridas que integran múltiples capas de materiales adheridos con espumas técnicas, representa un reto significativo para los procesos de desmontaje y clasificación. Asimismo, el reciclaje de los textiles técnicos empleados en capas externas o de confort es menos eficiente debido a la presencia de tratamientos químicos y a la baja calidad de las fibras tras su uso. Además, la expansión del modelo a otros estados de la unión se ha visto limitada por la ausencia de marcos legislativos equivalentes, lo cual genera desigualdades territoriales en el acceso a soluciones sostenibles.

Más allá de estas limitaciones, el caso estadounidense constituye una referencia internacional de buenas prácticas en la valorización de residuos complejos. A diferencia de los enfoques aún incipientes que predominan en muchas regiones europeas, el sistema norteamericano ha demostrado que es posible estructurar una cadena completa de reciclaje de colchones, financieramente viable, ambientalmente eficiente y socialmente integradora. Este modelo, centrado en el reciclaje mecánico de componentes, se complementa con investigaciones en curso sobre reciclaje químico, valorización energética controlada y rediseño de colchones para su desmontaje. No obstante, es en el plano operativo donde el modelo ha alcanzado su mayor grado de madurez, ofreciendo así un punto de partida sólido para su adaptación a otros contextos territoriales, como el que plantea el presente proyecto *Circular Ecosystems* en el municipio de Valladolid.



FIG.35: PUNTO DE RECOGIDA DEL BYE BYE MATTRESS <https://bedtimesmagazine.com/2020/09/fifth-anniversary-mrc-comes-of-age/>

En el marco de las políticas de economía circular aplicadas a los residuos voluminosos, el *Mattress Recycling Council* (MRC) representa una de las iniciativas más consolidadas y estructuralmente eficaces a escala internacional. Esta entidad sin ánimo de lucro fue creada en 2013 por la *International Sleep Products Association* (ISPA), en respuesta a la creciente presión legislativa y social para dar solución al tratamiento sostenible de colchones fuera de uso en Estados Unidos. Su constitución responde a un mandato directo derivado de la adopción de leyes estatales específicas de responsabilidad ampliada del productor (Extended Producer Responsibility, EPR), aprobadas inicialmente en Connecticut (2013), seguida de California y Rhode Island en 2014.

El objetivo fundacional del MRC es **diseñar, implementar y gestionar** un sistema integrado de reciclaje de colchones que permita desviar del vertedero el máximo porcentaje de materiales posibles, garantizando al mismo tiempo la viabilidad económica del modelo y la trazabilidad de cada unidad tratada. Para ello, el MRC actúa como entidad coordinadora entre los distintos agentes implicados: fabricantes, distribuidores, entidades públicas locales, centros de recogida, plantas de tratamiento y recicladores finales. Su programa operativo más conocido, *Bye Bye Mattress*, comenzó a funcionar en 2015 y ha conseguido establecer una red funcional de recogida y tratamiento que ha reciclado, hasta la fecha, más de doce millones de colchones.

La financiación del MRC se articula mediante una ecotasa obligatoria aplicada al consumidor final en el momento de la compra de un colchón nuevo. Esta tasa, que varía en función del estado, se destina íntegramente a cubrir los costes de transporte, desmontaje, reciclaje, auditoría y divulgación del programa. Este sistema de financiación directa ha permitido al MRC operar sin necesidad de subvenciones públicas estructurales, lo que ha contribuido a su estabilidad presupuestaria y a la planificación a medio y largo plazo de sus actividades.

Desde su inicio, el MRC ha adoptado una **perspectiva claramente técnico-científica**, invirtiendo recursos en la mejora continua de sus procedimientos y en el impulso de líneas de investigación orientadas a la innovación en reciclaje. Para ello, colabora de forma habitual con universidades, centros tecnológicos y entidades del tercer sector, tanto en Estados Unidos como a nivel internacional. Entre sus áreas prioritarias de actuación destacan la optimización de los procesos de desmontaje, la mejora del aprovechamiento de materiales complejos, el diseño de nuevos productos a partir de materiales reciclados y la evaluación del ciclo de vida de los procesos implementados.

Además de su función operativa, el MRC desempeña un papel relevante en la promoción de políticas públicas sostenibles, en la generación de estadísticas fiables sobre el sector del reciclaje de colchones, y en la elaboración de manuales técnicos y protocolos normalizados que permiten la replicabilidad del modelo. Este conocimiento ha sido puesto a disposición de otros estados y países interesados en desarrollar sistemas similares, consolidando así al MRC como una referencia internacional en la gestión circular de colchones desechados.

La actividad investigadora del MRC se articula a través de diversos proyectos experimentales, financiados en parte por los fondos obtenidos de la ecotasa y en parte mediante colaboraciones externas. Estos proyectos abordan temáticas como la recuperación avanzada de poliuretanos, el desarrollo de maquinaria para el desmontaje automatizado, y el análisis ambiental comparativo entre reciclaje y disposición final.

En los apartados siguientes se analizarán con mayor profundidad algunos de los experimentos más representativos promovidos por el *Mattress Recycling Council*, centrados en el estudio y mejora de los procesos generales de reciclaje de colchones. Estos ensayos abarcan una diversidad de enfoques que incluyen desde la optimización de las técnicas de desmontaje y clasificación de materiales hasta la evaluación ambiental de las distintas rutas de valorización, el desarrollo de nuevos usos para componentes recuperados y la experimentación con tecnologías de reciclaje químico emergentes. Si bien algunos de estos proyectos poseen un carácter transversal y pueden tener aplicaciones en distintos sectores industriales, se hará en esta primera parte un repaso general de aquellos que constituyen la base del conocimiento operativo acumulado por el MRC, en tanto que sustentan su modelo actual de gestión circular.

En secciones posteriores, se abordarán específicamente aquellas líneas experimentales cuya orientación se vincula de forma directa con el ámbito de la construcción, ya sea mediante el desarrollo de productos constructivos derivados de colchones reciclados o a través de su integración en soluciones técnicas propias del sector edificatorio. Esta distinción metodológica permite trazar una progresión lógica en el análisis, partiendo de la caracterización global del sistema de reciclaje y avanzando hacia sus posibles aplicaciones materiales en el contexto arquitectónico. Se presentan a continuación algunos estudios:

3.1.1. ESTUDIO SOBRE EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PELUSA

El reciclaje de colchones presenta múltiples desafíos debido a la heterogeneidad de sus componentes. Entre ellos, la fracción conocida como *mattress fluff* —compuesta por fibras textiles, espumas trituradas y materiales de relleno— suele carecer de salidas industriales estandarizadas. No obstante, recientes estudios de caracterización termoquímica han puesto de manifiesto su considerable potencial calorífico, lo que la convierte en una alternativa viable para su valorización energética. (Fig.36)

Según el informe de laboratorio realizado por **Evergreen Recycling** (2020), la pelusa de colchón presenta un poder calorífico superior (PCS) de hasta 12.778 BTU/lb (equivalente a aproximadamente 29,700 kJ/kg) en base seca y libre de cenizas, situándose así en un rango comparable al de ciertos biocombustibles sólidos. Este valor energético elevado se explica por una combinación favorable de factores: un bajo contenido de humedad (0,91%), una fracción volátil del 87,8% y una presencia significativa de carbono (63,8% en base seca y libre de cenizas), lo que evidencia su alta capacidad de liberación de energía en procesos de combustión.

Adicionalmente, el análisis elemental **revela concentraciones moderadas** de hidrógeno (8,77%), nitrógeno (4,34%) y azufre (0,35%), lo cual sugiere una combustión relativamente limpia, aunque es necesario controlar las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre en aplicaciones térmicas a escala industrial. La presencia de cloro (0,168%) podría requerir medidas específicas para evitar la formación de compuestos halogenados durante la incineración.

Estos resultados respaldan el uso del *mattress fluff* como combustible alternativo en sistemas de co-incineración en plantas cementeras, calderas industriales o como materia prima para la fabricación de pellets combustibles. Asimismo, se abre la posibilidad de su tratamiento mediante procesos termoquímicos como la pirolisis o la gasificación, conducentes a la producción de biochar, biogás o aceites combustibles, con aplicaciones adicionales en agricultura y almacenamiento de carbono.

En definitiva, la valorización energética de la pelusa de colchones representa una estrategia complementaria al reciclaje mecánico, especialmente útil para aquellas fracciones no reutilizables ni reciclables por otras vías. Su implementación requiere, sin embargo, de una infraestructura tecnológica adecuada, control de emisiones y un marco normativo que facilite su uso como combustible derivado de residuos (CDR) en el marco de la economía circular.



FIG.36: PELUSA DE LOS COLCHONES <https://mattressrecyclingcouncil.org/research-completed-reports/>

CONCLUSIÓN

El *mattress fluff*, fracción residual del reciclaje de colchones compuesta por fibras y espumas, presenta un alto poder calorífico comparable al de biocombustibles sólidos, lo que lo convierte en una alternativa viable para su valorización energética. Su bajo contenido de humedad y elevada proporción de carbono favorecen una combustión eficiente, aunque requiere control de emisiones. Su uso en co-incineración industrial o como precursor de biocombustibles en procesos de pirólisis o gasificación ofrece una vía complementaria al reciclaje mecánico. Para su aplicación efectiva se necesita infraestructura tecnológica, regulación específica y garantías ambientales, consolidándolo como recurso estratégico en la transición hacia la economía circular.

3.1.2. ESTUDIO SOBRE EL USO DE FIBRAS PARA DRENAJE FLUVIAL

En el marco de la economía circular aplicada al reciclaje de colchones “shoddy” representa uno de los **componentes menos valorizados** y, a su vez, más complejos de reaprovechar. Se trata de un material no tejido, compuesto por una mezcla de fibras vírgenes y restos de tejidos postindustriales, a menudo reforzado con una malla de poliéster o nailon para mejorar su estabilidad dimensional. Su ubicuidad en la construcción de colchones y su limitada reciclabilidad han llevado a que, en la práctica, la mayor parte del “shoddy” post-consumo acabe en vertederos.

Con el objetivo de explorar usos alternativos para este subproducto, el *Mattress Recycling Council* (MRC) impulsó en 2020 un proyecto piloto en colaboración con GHD y Humboldt University (California, EE.UU.). La iniciativa buscaba **evaluar el potencial de estas fibras recicladas en aplicaciones de ingeniería civil**, específicamente como material filtrante en sistemas de drenaje de aguas pluviales y como barrera contra la erosión del suelo. La hipótesis de partida se basaba en las propiedades intrínsecas del *shoddy*: su naturaleza fibrosa, capacidad de retención hídrica, baja densidad y estabilidad mecánica.

El estudio comenzó con **ensayos de lixiviación** para analizar los posibles impactos ambientales del uso del *shoddy* en contacto directo con el subsuelo. Las pruebas detectaron la presencia de compuestos perfluoroalquilados (PFAS), presumiblemente derivados de tratamientos aplicados a los tejidos de origen. Entre los analitos detectados se encuentran sustancias como el ácido perfluorooctanoico (PFOA), ácido perfluorononanoico (PFNA), y perfluorosulfonatos como el PFOS, con concentraciones que, si bien fueron intencionadamente amplificadas en laboratorio para fines analíticos, planteaban dudas sobre la seguridad del material en escenarios reales.

El informe concluye que, aunque los resultados preliminares no indicaban una amenaza inmediata en condiciones controladas, la gran heterogeneidad del material recuperado — derivada de su composición variable y de la diversidad de fuentes— impediría una caracterización estadística confiable sin la toma y análisis de cientos de muestras. Incluso si se demostrara su inocuidad en laboratorio, su uso a escala industrial requeriría nuevas fases de validación en condiciones reales, con costes asociados elevados (superiores a 2.000 dólares por muestra, solo en ensayos de lixiviación).

Como consecuencia de estos obstáculos técnicos, económicos y regulatorios, el MRC decidió no continuar con el desarrollo del proyecto en esa fase. No obstante, el estudio representa una contribución relevante al conocimiento sobre materiales fibrosos reciclados y sugiere que con tecnologías de descontaminación más avanzadas, o con usos encapsulados y no expuestos a infiltraciones, el *shoddy* podría reincorporarse a ciclos técnicos como material para control de erosión, drenaje o incluso aislamiento.

En términos generales, esta investigación evidencia tanto el potencial funcional del shoddy en aplicaciones ambientales como la necesidad de diseñar marcos normativos y metodologías de ensayo adaptadas a materiales reciclados no estandarizados. El reto no es solo técnico, sino también estructural: transitar de una economía lineal a una circular requiere inversiones en análisis de riesgo, certificación de materiales secundarios y educación de los agentes del sector de la construcción.

CONCLUSIÓN

El “shoddy”, pese a ser un componente recurrente en la fabricación de colchones, sigue siendo una fracción ampliamente desaprovechada dentro del modelo actual de reciclaje. Su estructura fibrosa, reforzada y heterogénea ofrece propiedades técnicas prometedoras —como capacidad filtrante, retención hídrica y estabilidad— que podrían ser aprovechadas en aplicaciones ambientales, tal como se exploró en el proyecto piloto liderado por el Mattress Recycling Council. Sin embargo, los riesgos derivados de su composición variable, especialmente por la posible presencia de PFAS, así como los elevados costes de caracterización y validación, limitan seriamente su incorporación a escala industrial.

Este caso revela una problemática estructural en la valorización de residuos textiles complejos: la falta de normas específicas, tecnologías de descontaminación viables y marcos regulatorios claros impide cerrar el ciclo de vida de materiales como el “shoddy”. Aun así, el potencial técnico de este residuo en usos encapsulados o en sistemas cerrados sugiere que, con la inversión adecuada en innovación y certificación, podría pasar de ser un desecho marginal a un recurso funcional en sectores como la ingeniería civil o el aislamiento térmico. La transición hacia una economía circular efectiva exige, por tanto, una revalorización de los residuos desde una perspectiva sistémica, donde el “shoddy” no sea visto como un residuo inerte, sino como una materia prima secundaria en potencia.

3.1.3. PROTOTIPO DE SEPARACIÓN DE BOBINAS EMBOLSADAS

La creciente implantación en el mercado de colchones con sistemas de **suspensión de bobinas embolsadas** ha introducido una problemática emergente en los flujos de reciclaje. Esta tecnología, también conocida como *pocketed coils* o *Marshall coils*, se caracteriza por contener muelles metálicos individuales encapsulados en fundas textiles cosidas o termoselladas entre sí, lo que les confiere una excelente adaptabilidad anatómica, pero una alta complejidad mecánica y funcional para su separación al final de la vida útil del producto.

A pesar de que el contenido de acero de este componente supera el 90% de su masa, su acceso al reciclaje metálico se ve **limitado por la contaminación con materiales textiles**. La separación manual de estas bobinas es inviable a escala industrial, lo que deriva habitualmente en su eliminación directa como fracción no reciclable.

Para abordar esta limitación estructural, el *Mattress Recycling Council* encargó a *Knoble Design LLC* el diseño y fabricación de un prototipo funcional de máquina automática para el desmontaje de bobinas embolsadas. El enfoque se basó en la construcción de un demostrador a escala 1/8, con capacidades funcionales completas, cuyo objetivo era validar: (Fig.37)

La factibilidad técnica del desmontaje automático de conjuntos de muelles embolsados, la obtención de fracciones limpias: acero y textil separables y valorizables sin contaminación cruzada, la reducción del tiempo de ciclo operativo, el control del consumo energético y costes asociados, la posibilidad de escalado industrial del dispositivo. El prototipo incorpora una serie de mecanismos diseñados específicamente para el tratamiento de bobinas embolsadas, entre ellos:

Sistema de alimentación motorizado que desplaza el módulo a lo largo de la línea de desmontaje, cabezales de corte transversal y longitudinal, capaces de seccionar los tejidos encapsulantes sin dañar el muelle, rodillos extractores y cepillos mecánicos, que separan el textil liberado de la estructura metálica, sistema de recogida dual, con compartimentos diferenciados para acero y material textil, panel de control automatizado, que sincroniza los distintos procesos mecánicos y controla los tiempos de operación. Estos elementos permiten ejecutar un proceso secuencial completamente automatizado, replicable en líneas de reciclaje industriales. El demostrador ha sido testado con colchones de diferentes tipologías y configuraciones de bobinas, obteniéndose los siguientes resultados:

Tiempo de procesamiento por unidad (queen size): 11,25 minutos en la primera fase, Proyección de mejora con ajustes mecánicos y refinamiento de procesos: 4,5 minutos por unidad, Separación del 100% del acero sin residuos textiles adheridos, con un rendimiento comparable al reciclaje tradicional de chatarra limpia, Recuperación del 90% del textil encapsulante, susceptible de valorización energética o en aplicaciones de aislamiento.

Cabe señalar que, además de su eficiencia mecánica, el prototipo presenta un diseño modular y compacto, lo que facilita su integración en plantas de reciclaje sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura.

El coste de fabricación del prototipo se estimó en 104.600 USD, incluyendo desarrollo, ensamblaje, materiales y programación. El informe técnico plantea que una versión industrial optimizada podría ser fabricada por menos de 80.000 USD, considerando economías de escala y mejora de los procesos. Desde un punto de vista económico, esta inversión se justifica por:

El ahorro de costes en gestión de residuos no reciclables. El valor recuperado del acero limpio, que puede comercializarse sin necesidad de reprocesamiento adicional. La posibilidad de integrar estas unidades en plantas existentes, reduciendo costes logísticos. Este prototipo representa un ejemplo paradigmático de tecnología aplicada al diseño circular, al ofrecer una solución concreta a un cuello de botella en la cadena de reciclaje de colchones. Su implementación no solo incrementa la tasa de recuperación de materiales, sino que permite:

Revalorizar una fracción crítica hasta ahora marginal. Disminuir el volumen de residuos enviados a vertedero. Incrementar la trazabilidad y transparencia en la cadena de reciclaje. Además, su uso puede fomentar nuevas alianzas entre recicladores, fabricantes y diseñadores de maquinaria, catalizando la industrialización de procesos aún muy dependientes del desmontaje manual.

CONCLUSIÓN

La automatización del desmontaje de bobinas embolsadas supone una solución eficaz a uno de los mayores retos del reciclaje de colchones. El prototipo desarrollado demuestra la viabilidad técnica y económica de separar acero y textil de forma limpia y eficiente, facilitando su valorización. Su diseño modular, replicable en plantas existentes, refuerza su potencial como herramienta clave en la transición hacia una economía circular. Esta innovación no solo mejora la recuperación de materiales, sino que también impulsa la sostenibilidad del sector y abre nuevas vías de colaboración industrial.



FIG.37: PROTOTIPO DE MÁQUINA SEPARADORA <https://youtu.be/dVtF32Q-SfE?si=jHkhPaxwAmlb9EBu>

3.1.4. TRANSFORMACIONES QUÍMICAS DE LA ESPUMA DE POLIURETANO

El polioli reciclado empleado —denominado comercialmente *Infigreen-300*— se obtuvo a través de **procesos de glicólisis de espuma de poliuretano postindustrial**. Su estructura fue evaluada mediante espectroscopía infrarroja (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA). En comparación con el polioli virgen de referencia (polipropilenglicol, PPG), *Infigreen-300* presentó una estructura mixta poliéter-poliéster y una mayor estabilidad térmica, resistiendo la degradación hasta los 420 °C frente a los 340 °C del PPG. Su valor hidroxilo elevado (290 mg KOH/g) requiere una adaptación específica de las condiciones de síntesis. (Fig. 38)

La metodología seguida se basó en la técnica de prepolímero, donde un diisocianato (IPDI), un polioli (PPG o reciclado), y un compatibilizador¹² (aniónico o catiónico) son polimerizados en presencia de catalizador (DBTDL). Tras la neutralización del compatibilizador (con TEA o ácido acético, según el caso), la mezcla se dispersa en agua mediante agitación de alta cizalla y se procede a una extensión de cadena con hexametilendiamina. En el caso de los polioles reciclados, se adoptaron ajustes críticos:

Reducción del ratio NCO:OH (<1 para dispersiones catiónicas) para evitar la formación de redes poliméricas demasiado densas que impiden una dispersión adecuada. Aumento del grado de neutralización (hasta 300%) en formulaciones catiónicas para garantizar la estabilidad coloidal frente al extensor de cadena alcalino. Se sintetizaron WPUDs tanto con polioles vírgenes como reciclados, obteniéndose:

Tamaños de partícula entre 60–130 nm, comparables con las dispersiones comerciales UD108 y UD135. Valores de potencial zeta entre -30 y +60 mV, dependiendo del tipo de compatibilizador, lo que confirma una buena estabilidad en medio acuoso. Dispersión estable con contenido sólido entre 25 y 30%, adecuada para aplicaciones industriales en adhesivos, recubrimientos y membranas.

En los casos con *Infigreen-300*, los WPUDs obtenidos presentaron propiedades fisicoquímicas dentro del rango comercial, lo cual valida su viabilidad como sustituto parcial o total del polioli virgen. La naturaleza más ramificada y polar del polioli reciclado exigió ajustes finos en la formulación, pero permitió la obtención de productos finales con buena estabilidad coloidal y propiedades funcionales equivalentes.

Los resultados de este estudio evidencian la posibilidad de cerrar el ciclo de vida del poliuretano flexible mediante su reintroducción en la cadena de valor bajo la forma de nuevas formulaciones de PU base agua, libres de disolventes orgánicos y respetuosas con el medio ambiente. Las aplicaciones potenciales incluyen: Membranas para procesos de separación, revestimientos protectores de superficies, películas barrera para envases o aislamiento técnico.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, este enfoque representa un ejemplo sólido de reciclaje químico avanzado que combina el aprovechamiento de residuos con la innovación en materiales funcionales.

¹² Aditivo que mejora la interacción entre materiales químicamente incompatibles



FIG.38: PLANTA DE RECICLAJE DE ESPUMAS DE POLIURETANOS REPSOL <https://www.retema.es/articulos-reportajes/repsol-cierra-el-ciclo-de-la-espuma-de-poliuretano-con-una-planta-pionera-de>

CONCLUSIÓN

El uso de Infigreen-300 como polioli reciclado en la síntesis de poliuretanos base agua demuestra la viabilidad técnica de incorporar residuos de poliuretano postindustrial en formulaciones industriales sostenibles. Pese a requerir ajustes específicos en la formulación, los WPUDs obtenidos alcanzan propiedades comparables a los productos comerciales. Este enfoque no solo cierra el ciclo de vida del poliuretano flexible, sino que ofrece una alternativa funcional, libre de disolventes, alineada con los principios de la economía circular y con amplias aplicaciones industriales.

3.1.5. RECICLAJE DE TEXTILES DE COLCHONES

El estudio, financiado por el *Mattress Recycling Council* y desarrollado en el *Rensselaer Polytechnic Institute*, explora una vía emergente para la **valorización de residuos textiles** procedentes de colchones fuera de uso, concretamente los denominados *shoddy pads* —capas no tejidas compuestas por mezclas heterogéneas de fibras textiles (principalmente PET y algodón)—. Ante la baja viabilidad del reciclaje mecánico de estos materiales, se propone la depolimerización¹³ selectiva mediante catalizadores enzimáticos, orientada a la obtención de monómeros de alto valor añadido (glucosa y ácido tereftálico).

Los *shoddy pads* representan una fracción residual significativa (hasta el 10% del volumen de residuos no reciclables generados por colchones) debido a su composición compleja y baja estandarización. Este estudio plantea una solución basada en catálisis biológica dual:

Celulasas para romper las cadenas de celulosa en fibras naturales como algodón. Cutinasas para degradar las cadenas de poliéster (PET). Se plantea un protocolo enzimático en dos pasos (one-pot cascade) que permita depolimerizar de forma independiente y selectiva ambos polímeros presentes en el mismo material.

El estudio se centró en un *shoddy pad* (muestra #12), con una composición del 60% de PET y 40% de celulosa, determinada mediante espectroscopía FTIR y análisis químico ASTM D629-15. La caracterización térmica mediante calorimetría diferencial (DSC) reveló una cristalinidad del PET del 23,6%, lo que representa un desafío para la eficacia de la hidrólisis enzimática, dado que las regiones cristalinas del PET son conocidas por su resistencia a la degradación enzimática.

Hidrólisis de celulosa con celulasas: Se empleó una celulasa de diseño industrial (Cellic CTec3HS) en condiciones optimizadas (pH 4, 50 °C, 96 h). La liberación de glucosa se cuantificó mediante el kit Amplex Red. A partir de 100 mg de muestra, se obtuvieron en promedio $17,2 \pm 1,4$ mg de glucosa tras 96 h, lo que representa aproximadamente un 43% de conversión del contenido de celulosa estimado. Se observaron pérdidas asociadas a la retención de fibras en los filtros de lavado y la flotación del sustrato en medio líquido.

Hidrólisis de PET con cutinasas: Se utilizó la enzima *Humicola insolens cutinasa* (HiC), cuya actividad fue verificada mediante ensayos de pH-estat. La depolimerización del PET se mostró significativamente limitada: en condiciones estándar (80 °C, pH 8, 96 h), se logró una conversión del 5% a ácido tereftálico.

Para mitigar la resistencia del PET cristalino, se aplicó un tratamiento térmico de *melt-quench*, consistente en calentar la muestra a 260–350 °C seguido de enfriamiento ultrarrápido en nitrógeno líquido, lo que redujo la cristalinidad al 1,8%. Sin embargo, no se observaron mejoras sustanciales en el rendimiento de la hidrólisis, lo que indica que la reducción de cristalinidad, si bien necesaria, no es condición suficiente.

¹³ Polímero se descompone en sus monómeros o en fragmentos más pequeños

El enfoque combinó las dos enzimas en un mismo reactor de forma secuencial. Se realizó primero la hidrólisis con celulasa, seguida por ajuste de pH y temperatura para la acción de la cutinasa. Los resultados mostraron un rendimiento ligeramente mejor que las reacciones individuales: Glucosa: $14,1 \pm 0,83$ mg / 100 mg de muestra. Ácido tereftálico: $4,62 \pm 0,21$ mg / 100 mg de muestra.

No obstante, se evidenciaron interferencias entre enzimas y reacciones cruzadas en el sistema de cuantificación, lo que obligó a introducir fases de filtración y ajuste del protocolo. Las principales barreras encontradas fueron:

Baja eficacia enzimática frente al PET cristalino, incluso tras pretratamientos térmicos. Retención física del sustrato en el medio acuoso, dificultando la accesibilidad enzimática. Pérdida de fibras en las fases de lavado y filtrado, afectando al balance de masa. Interferencias analíticas entre componentes del sistema y los kits de cuantificación. Para superar estas limitaciones se recomienda:

Reducción adicional del tamaño de fibra (<1 mm) mediante molienda avanzada. Agitación mecánica más agresiva para evitar flotación y asegurar contacto efectivo enzima-sustrato. Uso de enzimas de última generación, con ingeniería dirigida para incrementar la afinidad por PET altamente cristalino. Sistemas de filtración más finos y eficientes para conservar material durante los lavados.

Este trabajo intenta demostrar la posible viabilidad técnica de un enfoque enzimático para la depolimerización selectiva de textiles complejos, como los *shoddy pads* de colchones. Aunque los rendimientos actuales son modestos, se establece una base experimental sólida para el desarrollo futuro de biotecnologías de reciclaje químico selectivo, con potencial para reintegrar PET y celulosa en la producción de nuevos polímeros o materiales funcionales. (Fig. 39)

A medio plazo, esta estrategia puede consolidarse como una alternativa sostenible, específica y de bajo impacto energético, superando las limitaciones del reciclaje mecánico convencional en materiales textiles de postconsumo.



FIG.39: TEXTIL USADO EN COLCHÓN <https://mattressrecyclingcouncil.org/research-completed-reports/>

CONCLUSIÓN

El estudio realizado en el Rensselaer Polytechnic Institute plantea una estrategia innovadora para la valorización de residuos textiles complejos presentes en los colchones, específicamente los shoddy pads. Mediante un protocolo enzimático secuencial, basado en el uso de celulasas y cutinasas, se logró la depolimerización parcial de las fracciones de celulosa y PET, obteniendo glucosa y ácido tereftálico como productos de valor añadido.

A pesar de las limitaciones técnicas observadas —como la baja eficiencia enzimática frente al PET cristalino, las pérdidas de material durante el proceso o las interferencias analíticas— el enfoque ha demostrado viabilidad técnica preliminar y abre la puerta al desarrollo de biotecnologías más avanzadas. La reducción de tamaño de fibra, el uso de enzimas optimizadas y una mejora en los sistemas de manejo del sustrato se perfilan como claves para avanzar en esta línea.

En conjunto, esta investigación aporta una base experimental sólida para un modelo de reciclaje químico más selectivo y respetuoso con el medio ambiente. A medio plazo, esta vía podría convertirse en una alternativa viable al reciclaje mecánico convencional, permitiendo reintroducir materiales textiles postconsumo en cadenas de producción de nuevos polímeros y aplicaciones funcionales, dentro del paradigma de la economía circular.

3.1.6. USO DE TEXTILES DE COLCHONES EN BATERÍAS

En el contexto de la transición energética y la creciente demanda global de tecnologías de almacenamiento energético, los materiales carbonosos avanzados juegan un papel fundamental como componentes activos en baterías recargables y supercondensadores. Esta investigación propone una **vía alternativa de suministro de materiales carbonosos** mediante la valorización de residuos textiles derivados de colchones en desuso, como los *shoddy pads*, fibras de coco, algodón y espumas de poliuretano. El objetivo principal fue desarrollar un proceso de conversión que permitiera **transformar estos residuos en electrodos funcionales**, respetuosos con el medio ambiente, económicamente viables y con rendimiento competitivo frente a materiales comerciales.

El equipo de NIMA desarrolló un proceso termocatalítico para obtener estructuras de carbono poroso a partir de diversas fracciones recicladas de colchones. Entre los materiales evaluados destacan:

Los *shoddy pads*, tal y como se ha mencionado anteriormente, son una **mezcla no tejida de fibras textiles recicladas**, principalmente de algodón y poliéster, que presentan buena capacidad de amortiguación y aislamiento. A este material se suman otras fracciones procedentes de colchones desechados con potencial interés en construcción, como las fibras de coco, de origen natural y alto contenido en lignina que les confiere gran rigidez y resistencia a la humedad; el algodón reciclado, con alto contenido en celulosa y buen comportamiento higrotérmico; y la espuma de poliuretano, un derivado orgánico con alta densidad energética, que ofrece propiedades aislantes y cierta elasticidad estructural.

Los materiales fueron sometidos a carbonización controlada y activación térmica, ajustando condiciones como temperatura, atmósfera inerte y tiempo de residencia, con el fin de obtener estructuras altamente conductoras, porosas y estables térmicamente, óptimas para su uso como ánodos o cátodos en baterías y supercondensadores. Los materiales obtenidos se integraron en dispositivos prototipo, incluyendo:

Supercondensadores de doble capa, baterías recargables de doble carbono, donde tanto el ánodo como el cátodo derivaban de materiales reciclados de colchones. Los dispositivos fueron evaluados mediante técnicas electroquímicas como ciclos de carga/descarga, voltamperometría cíclica y espectroscopía de impedancia electroquímica. Los resultados mostraron:

Estabilidad electroquímica superior a 10.000 ciclos, sin degradación observable. Eficiencia coulombica¹⁴ cercana al 100%, lo que indica mínima pérdida de carga por ciclo. Elevada densidad energética y de potencia, especialmente en configuraciones con electrolitos orgánicos.

¹⁴ Relación entre la carga eléctrica extraída de una batería durante la descarga y la carga suministrada durante la carga

Un **segundo eje de investigación** se orientó hacia el desarrollo de baterías de litio-azufre (Li-S), una tecnología emergente que presenta un potencial energético teórico significativamente superior al de las baterías convencionales de iones de litio. En este enfoque, se empleó carbono poroso obtenido a partir de textiles reciclados como material soporte del cátodo de azufre, con el objetivo de optimizar el rendimiento electroquímico de las celdas. (Fig. 40)

El carbono derivado de estos residuos mostró propiedades particularmente adecuadas para esta aplicación, como una alta conductividad eléctrica, una elevada área superficial específica y una porosidad jerárquica que combina micro y mesoporos. Estas características permiten, por un lado, mitigar el efecto "shuttle" de los polisulfuros —responsable de la pérdida de capacidad en ciclos prolongados— y, por otro, absorber la significativa expansión volumétrica del azufre durante los procesos de carga y descarga, que puede alcanzar hasta un 80%.

Se fabricaron y evaluaron celdas Li-S utilizando electrodos a partir de diferentes fuentes textiles recicladas: algodón (MRC-Cot), shoddy (MRC-Sh) y fibras de coco (MRC-Coco). Entre ellas, la celda basada en carbono derivado del algodón reciclado (MRC-Cot) presentó el mejor comportamiento electroquímico, destacando por una resistencia interna notablemente baja (hasta siete veces inferior a la obtenida con MRC-Coco), una capacidad específica estable en torno a los 700 mAh/g tras 50 ciclos, y una eficiencia coulombica próxima al 100%.

Estos resultados poseen una relevancia sustancial en términos de sostenibilidad. El empleo de residuos textiles procedentes de colchones no solo contribuye a **reducir la cantidad de estos productos depositados en vertederos**, sino que también disminuye la huella de carbono asociada al proceso de fabricación de baterías. Además, representa una alternativa viable al grafito comercial —material convencionalmente empleado en estas aplicaciones— cuya obtención implica procesos de extracción y tratamiento intensivos en recursos y con un elevado impacto ambiental.

Seguridad de suministro: se propone un canal de suministro doméstico y renovable de materiales carbonosos, contribuyendo a los objetivos del *U.S. Department of Energy* de establecer una cadena de valor nacional para baterías recargables. **Viabilidad industrial:** el proceso de carbonización es escalable, económico y adaptable a otras corrientes textiles postconsumo (ropa, tapicería, etc.), ampliando el impacto del modelo más allá del sector del colchón.

Esta investigación representa una contribución significativa al campo de la valorización de residuos postconsumo mediante tecnología aplicada a la energía. Se ha demostrado que los textiles reciclados de colchones son precursores viables de materiales carbonosos avanzados para electrodos, con propiedades electroquímicas comparables o superiores a los materiales convencionales. Su aplicación en tecnologías de almacenamiento energético —incluyendo baterías duales y Li-S— constituye un paso firme hacia un modelo energético más circular, autónomo y resiliente.

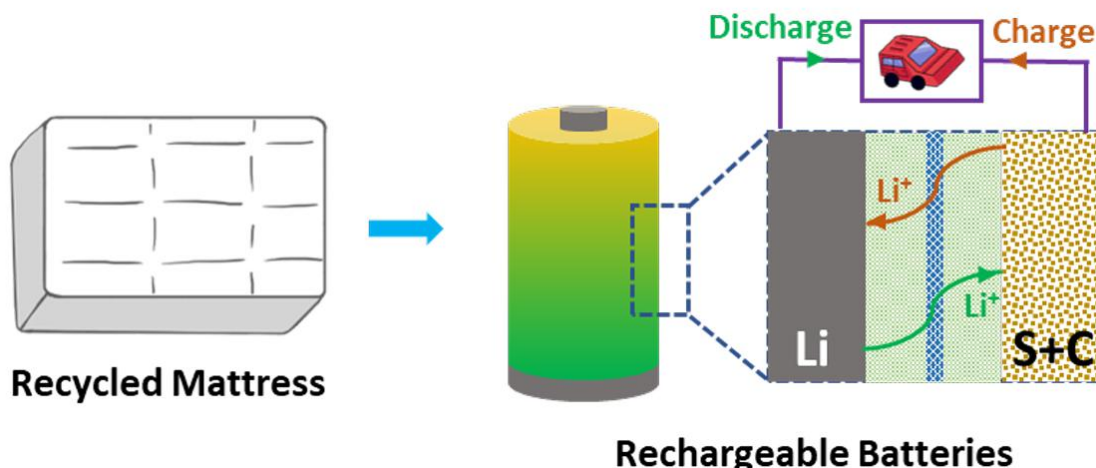


FIG.40: ESQUEMA DE LA POSIBILIDAD DE RECICLAJE DE LOS COLCHONES chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mattressrecyclingcouncil.org/wp-content/uploads/2023/04/Posted-Executive-Summary.pdf

CONCLUSIÓN

Esta investigación demuestra que los residuos textiles de colchones, tradicionalmente considerados como fracciones de bajo valor, pueden convertirse en una fuente alternativa eficaz de materiales carbonosos avanzados para aplicaciones energéticas. A través de un proceso termocatalítico optimizado, se ha logrado transformar textiles como algodón, shoddy pads, fibras de coco y espumas de poliuretano en electrodos funcionales, válidos para supercondensadores, baterías duales y celdas de litio-azufre (Li-S).

Los resultados evidencian una excelente estabilidad electroquímica, alta eficiencia coulombica y una densidad energética competitiva, igualando e incluso superando en algunos casos el rendimiento de materiales comerciales como el grafito. Especialmente destacable es el comportamiento del carbono derivado del algodón reciclado, que mostró las mejores prestaciones en celdas Li-S, con baja resistencia interna y capacidad estable a largo plazo.

Más allá de su relevancia técnica, esta línea de trabajo subraya el impacto ambiental positivo de revalorizar residuos postconsumo, alineándose con los principios de la economía circular y la sostenibilidad. Al ofrecer un canal de suministro local, renovable y económico para la producción de materiales activos, se refuerza también la seguridad estratégica en la cadena de valor de tecnologías de almacenamiento energético.

En conjunto, este estudio consolida el potencial de la valorización energética de residuos textiles como una vía robusta y escalable para avanzar hacia sistemas energéticos más limpios, resilientes y circulares.

3.1.7. RECICLAJE DE ALGODÓN Y FIBRA DE COCO COMO ABONO

El reciclaje de colchones genera residuos textiles en proporciones significativas, entre los que destacan el **algodón moteado y la fibra de coco**. Según el *MRC Waste Characterization Study* de 2021, en California se extraen anualmente más de 1.300 toneladas de estos materiales durante el proceso de desmontaje de colchones: aproximadamente 1.051 toneladas de algodón y 250 toneladas de coir. A pesar de sus propiedades orgánicas, la mayoría de estos materiales es enviada a vertedero por la ausencia de canales de valorización secundaria.

El estudio propone una alternativa de alto valor ambiental mediante su incorporación en procesos de compostaje industrial, con el objetivo de verificar su viabilidad como enmienda orgánica en combinación con residuos vegetales.

El algodón moteado es un subproducto de la manufactura textil que contiene fibras inmaduras, fragmentos de semillas, hojas y otras impurezas. Aunque no es apto para aplicaciones textiles de alto valor, su origen lignocelulósico lo convierte en un material compostable potencial. En el contexto de los colchones, suele encontrarse como capa no tejida en estructuras intermedias o superficiales.

La fibra de coco se obtiene del mesocarpio¹⁵ del fruto y es utilizada en colchonería por su resistencia y permeabilidad al aire. En su aplicación industrial se presenta en capas comprimidas unidas con látex. A pesar de su naturaleza orgánica y biodegradabilidad, su **valorización está limitada**, en parte por su baja estética y las dificultades de separación.

Ambos materiales comparten una estructura fibrosa con elevada proporción de carbono y comportamiento hidrofílico, lo que justifica su incorporación en mezclas lignocelulósicas para compost.

En octubre de 2022 se entregó una tonelada de algodón moteado y una tonelada de coir a la planta de compostaje comercial *GreenWaste Z-Best* (Gilroy, California). El material fue incorporado a una mezcla con 60 toneladas de residuos vegetales de jardinería, en proporción 1:30, y triturado mecánicamente para la reducción del tamaño de partícula.

A continuación, la mezcla fue dispuesta en pilas tipo windrow sin cobertura, sometidas a volteo y riego cada tres días durante un período activo de 17 semanas, seguido de una fase de maduración cubierta de cinco semanas. Finalmente, se aplicó un tamizado con malla de 3/16 pulgadas para separar el compost maduro de materiales no descompuestos.

El material compostado fue analizado según los protocolos del Test Methods for the Examination of Compost and Composting (TMECC), mediante envío al *Soil Control Lab* (Watsonville, CA). Los parámetros evaluados incluyeron:

¹⁵ Parte media y generalmente carnosa de un fruto, situada entre la piel y la capa que rodea la semilla.

Patógenos: ausencia de *Salmonella* y presencia leve de coliformes fecales (>1000/g), atribuida a contaminación externa (aves), no al material reciclado, contenido nutritivo: 3,4 % de N+P₂O₅+K₂O (valor medio estándar para compost), **metales pesados:** cumplimiento de límites normativos, sin riesgo toxicológico, **estabilidad del compost:** 2,0 mg CO₂-C/g MO/día, lo que indica compost estable y maduro, Tamaño de partícula: 0% superior a 6,3 mm, apto para todas las aplicaciones, **relación amonio/nitrógeno total:** 0,27, indicador de alta madurez biológica.

Desde el punto de vista económico, el operador de la planta indicó que el tratamiento de algodón y coir mediante compostaje podría realizarse con una tarifa por tonelada competitiva, incluso inferior a la tarifa de vertido. Esto genera un incentivo financiero directo para los recicladores, especialmente en estados como California con regulaciones de reducción de residuos en vertedero. A nivel ambiental, esta estrategia:

Evita la acumulación de residuos orgánicos en vertederos, genera compost de calidad utilizable en agricultura, paisajismo y restauración ecológica, reduce la huella de carbono asociada al tratamiento de residuos textiles de colchón.

El estudio demuestra de forma concluyente que el algodón y la fibra de coco extraídos de colchones pueden **ser incorporados con éxito en procesos de compostaje industrial**, sin afectar negativamente a la calidad del producto final. Los resultados obtenidos en la caracterización físico-química y biológica del compost avalan su idoneidad como enmienda orgánica y abren la puerta a la creación de un mercado secundario para materiales tradicionalmente desechados. (Fig. 41)

Este enfoque se inscribe en una lógica de economía circular textil aplicada al sector de residuos voluminosos, y puede ser replicado en otros territorios, especialmente donde exista infraestructura de compostaje avanzada y normativa de valorización orgánica.

CONCLUSIÓN

El presente estudio demuestra que materiales orgánicos tradicionalmente descartados en el reciclaje de colchones, como el algodón moteado y la fibra de coco, pueden ser incorporados con éxito en procesos de compostaje industrial. Las pruebas realizadas en condiciones reales de operación no solo validan su degradabilidad y compatibilidad con residuos vegetales, sino que también confirman la calidad agronómica del compost resultante, cumpliendo estándares de madurez, estabilidad y seguridad ambiental.

Desde una perspectiva económica y operativa, el compostaje ofrece una alternativa rentable frente al vertido, alineada con las políticas de reducción de residuos y valorización orgánica, especialmente en regiones con infraestructura adecuada. La transformación de estos residuos en enmiendas orgánicas útiles para agricultura, paisajismo o restauración ecológica refuerza su potencial como solución circular.

Este enfoque abre la puerta a la creación de nuevos canales de valorización para materiales lignocelulósicos extraídos de colchones, favoreciendo una gestión de residuos más sostenible, replicable y alineada con los principios de la economía circular en el sector de voluminosos.



FIG. 41: MUESTRA DEL COMPUESTO VO2-ALGODÓN Y FIBRA DE COCO.pdf

3.1.8. LA VITRIMERIZACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO

El **reciclaje de espumas de poliuretano** (PU), ampliamente utilizadas en la fabricación de colchones, representa uno de los mayores desafíos tecnológicos y medioambientales en el ámbito de la economía circular. Su naturaleza termoestable, basada en redes covalentes reticuladas, impide su reprocesamiento mediante métodos convencionales como el fundido o la extrusión. Hasta hace poco, los residuos de PU eran relegados principalmente al "downcycling", es decir, la transformación en productos de menor valor añadido como subbases para alfombras, sin permitir una reincorporación efectiva al ciclo de materiales de alto rendimiento.

Frente a estas limitaciones, la vitrimerización surge como una estrategia innovadora que redefine las **posibilidades de reciclaje para polímeros termoestables**. Este proceso permite transformar redes poliméricas irreversibles en materiales dinámicos capaces de reestructurarse bajo condiciones controladas, posibilitando su reprocesamiento y reciclaje sin degradación significativa de sus propiedades funcionales.

El concepto de vitrimerización se basa en la **creación de Redes Covalentes Adaptativas** (CANs, por sus siglas en inglés), en las cuales los enlaces covalentes del polímero pueden reorganizarse mediante mecanismos de intercambio químico activados térmicamente. A diferencia de los termoplásticos (procesables por fusión) y los termoestables convencionales (irreversibles), los vitrímeros combinan la estabilidad mecánica de los segundos con la procesabilidad de los primeros.

Este tipo de redes dinámicas se habilita mediante enlaces capaces de intercambiarse (por ejemplo, carbamatos, ésteres o enlaces tipo imina), lo cual permite mantener la integridad estructural del material a temperatura ambiente, pero otorgarle fluidez bajo temperaturas elevadas sin descomposición química.

El proyecto Vitricycle, respaldado por el *Mattress Recycling Council* y desarrollado por la empresa Edge Global Innovation, representa una aplicación pionera a escala piloto de la vitrimerización aplicada al reciclaje de espumas PU postconsumo, especialmente aquellas derivadas de colchones.

A diferencia de enfoques anteriores limitados al ámbito experimental y dependientes del uso de catalizadores o disolventes especializados, el proceso desarrollado por Vitricycle evita el uso de aditivos tóxicos o costosos. Mediante una combinación de procesos físicos y mecanoquímicos, las espumas PU termoestables son compactadas y reestructuradas en láminas vitrificadas procesables, posteriormente convertidas en pellets masterbatch aptos para moldeo por inyección. El proceso de vitrimerización desarrollado se sometió a ensayos técnicos exhaustivos:

Microscopía óptica y electrónica para verificar la **homogeneidad estructural de los plásticos obtenidos**. Ensayos de tracción y alargamiento a rotura, mostrando resistencias mecánicas comparables a materiales vírgenes. Análisis térmicos (DSC y DMA), que evidenciaron buena estabilidad térmica y propiedades viscoelásticas adecuadas para procesos industriales. Índice de fluidez (MFI), que confirmó la capacidad de transformación por métodos de termoconformado.

Los pellets reciclados con hasta un 75% de contenido en PU postconsumo mostraron propiedades satisfactorias, y mediante aditivos formulados se logró ajustar parámetros clave como dureza, elasticidad o resistencia mecánica, adaptando el producto a diversas aplicaciones.

Desde el punto de vista medioambiental, la vitrimerización de espumas PU representa una solución disruptiva frente a alternativas como la pirólisis o el reciclado químico catalítico. El proceso Vitricycle no genera emisiones contaminantes significativas, reduce los costes logísticos al compactar la espuma (reduciendo volumen hasta en un 90%) y elimina el uso de reactivos peligrosos.

Además, el modelo de implementación propuesto —basado en licencias, transferencia tecnológica y colaboración directa con recicladores y fabricantes— permite descentralizar el proceso y reducir significativamente los costes asociados al transporte y almacenamiento de espumas voluminosas.

Aunque no se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (LCA) completo, los estudios preliminares indican una **huella de carbono notablemente baja** y una mejora sustancial en el aprovechamiento de materiales de difícil reciclaje. Los productos obtenidos mediante vitrimerización han demostrado ser compatibles con una amplia gama de aplicaciones industriales y de consumo: (Fig. 42)

Suelas de calzado, gomas técnicas y juntas, alfombrillas de automoción, fundas de teléfonos móviles, mangos y grips deportivos. Esto no solo diversifica los mercados potenciales para estos materiales reciclados, sino que también fortalece su viabilidad económica al reemplazar polímeros vírgenes de mayor coste y mayor impacto ambiental.

La vitrimerización, en su aplicación al reciclaje de espumas PU postconsumo, constituye una tecnología transformadora dentro de la economía circular de los polímeros. El desarrollo liderado por Vitricycle demuestra su factibilidad técnica, económica y ambiental, marcando un punto de inflexión para el reciclaje de materiales tradicionalmente considerados no reciclables.

En el contexto de la valorización de colchones usados, esta metodología representa una solución integral para reintroducir materiales de alta calidad en el ciclo productivo, cerrando el bucle de uso de polímeros avanzados con una clara orientación hacia la sostenibilidad y la eficiencia industrial.

CONCLUSIÓN

La vitrimerización se perfila como una solución revolucionaria para el reciclaje de espumas de poliuretano, superando las barreras impuestas por su naturaleza termoestable. El proyecto Vitricycle ha demostrado de forma piloto la viabilidad técnica y ambiental de esta tecnología, logrando transformar residuos complejos en materiales funcionales mediante un proceso libre de disolventes tóxicos y con una alta eficiencia energética.

Los materiales reciclados presentan propiedades mecánicas y térmicas comparables a las de polímeros vírgenes, permitiendo su uso en aplicaciones industriales de alto valor añadido. Además, el enfoque distribuido basado en licencias y colaboración con recicladores reduce costes logísticos y facilita la implantación local de la tecnología.



FIG. 42: PELLETS FORMADOS POR LA VITRIMERIZACIÓN <https://mattressrecyclingcouncil.org/research-completed-reports/>

3.1.9. UTILIZACIÓN DE ESPUMA PU PARA LIMPIAR DERRAMES DE PETRÓLEO

El poliuretano (PU), y en particular sus versiones en forma de espumas reticuladas (PUF), es un **material omnipresente en la fabricación de colchones**, con un mercado global proyectado a superar los 90.000 millones de dólares en 2032. Su naturaleza termoestable, basada en una red covalente tridimensional, lo convierte en un material difícilmente reciclable mediante técnicas convencionales. Como resultado, la mayor parte de estas espumas termina en vertederos, a pesar de que más del 75 % de los componentes de un colchón son técnicamente reciclables.

La limitada valorización de las espumas recicladas —restringida casi exclusivamente a la fabricación de acolchados para moquetas (rebond)— impide la viabilidad económica de los sistemas de reciclaje masivo. Ante este contexto, surge la necesidad de identificar aplicaciones de alto valor añadido que justifiquen y potencien el reciclaje de las PUF postconsumo.

Una de las propuestas emergentes más prometedoras es el uso de espumas recicladas funcionalizadas como sorbentes oleofílicos para la remediación ambiental de derrames de hidrocarburos, particularmente en entornos marinos. Esta línea de investigación plantea una sinergia entre economía circular y tecnologías de protección ambiental.

Las espumas de poliuretano son materiales con microestructura celular abierta y alta relación superficie-volumen, lo que las convierte en candidatas idóneas para aplicaciones de absorción. No obstante, en su estado original, las PUF muestran una moderada afinidad por los hidrocarburos y una absorción concomitante de agua, lo que limita su eficacia en escenarios de remediación marina.

El presente estudio, desarrollado por investigadores del *Biodesign Center for Sustainable Macromolecular Materials and Manufacturing* de la Universidad Estatal de Arizona, demuestra la **viabilidad de modificar químicamente la superficie de espumas** de colchones recicladas mediante métodos simples, a presión atmosférica y con reactivos fácilmente disponibles. Estas reacciones introducen grupos funcionales oleofílicos en la superficie de la espuma, aumentando su afinidad por los aceites y reduciendo simultáneamente su absorción de agua. Las espumas modificadas se evaluaron mediante análisis espectroscópico de fotoelectrones de rayos X (XPS), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopía electrónica de barrido (SEM) para confirmar la modificación química y preservar su integridad estructural. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos comparativos de absorción de mezclas agua/aceite. Entre los principales hallazgos destacan:

La espuma no tratada mostró una absorción de 14,4 g de aceite y 11,8 g de agua por gramo de espuma, con una selectividad aceite:agua de $\sim 1,2$. Una de las formulaciones funcionalizadas presentó un aumento superior al 300% en la absorción de aceite, junto con una mejora del 75% en la selectividad. Otra variante mostró una reducción de la absorción de agua en más de cuatro veces, logrando una relación de selectividad aceite:agua más de seis veces superior a la del material no tratado. En términos absolutos, las espumas modificadas alcanzaron **capacidades de absorción** de entre 21 y 45 g de aceite por gramo de espuma, superando con creces a los materiales comerciales de referencia a base de polipropileno (8–12 g/g) utilizados actualmente en el control de vertidos. (Fig. 43)

Las imágenes SEM indicaron que las **espumas recicladas conservan en gran medida su arquitectura celular** tras la modificación, lo que resulta crucial para mantener su capacidad de absorción capilar. En una de las modificaciones se observó una ligera rotura de las paredes celulares, sin comprometer significativamente la estabilidad mecánica del material.

Desde el punto de vista operativo, el método propuesto tiene claras ventajas frente a técnicas previas de modificación superficial que dependían de equipos costosos, reactores de vacío o tiempos de deposición prolongados. La simplicidad del proceso y su potencial de escalado lo hacen compatible con infraestructuras industriales existentes.

Aunque se requieren ensayos adicionales en condiciones reales para validar su eficacia en entornos contaminados, estos resultados iniciales permiten vislumbrar un **nuevo modelo de valorización funcional** para las espumas de colchones postconsumo, transformándolas en insumos activos para la descontaminación ambiental. Además de la aplicación específica en derrames de petróleo, la metodología de funcionalización podría adaptarse a otras aplicaciones mediante la incorporación selectiva de grupos químicos, incluyendo:

Sorbentes de contaminantes acuosos específicos (metales pesados, fenoles, pesticidas). Medios de filtración inteligentes en procesos industriales o municipales. Espumas superabsorbentes para usos agrícolas o sanitarios.

La investigación sobre la funcionalización superficial de espumas de colchones recicladas demuestra un avance significativo en la convergencia entre reciclaje de materiales complejos y tecnologías de remediación ambiental. La transformación de un residuo urbano de baja valorización en un producto funcional, competitivo frente a alternativas comerciales, encarna los principios de la economía circular aplicada a la sostenibilidad tecnológica. Este enfoque representa una vía prometedora para incrementar las tasas de reciclaje de colchones y dotar de nuevo valor a uno de sus componentes más problemáticos: la espuma de poliuretano.

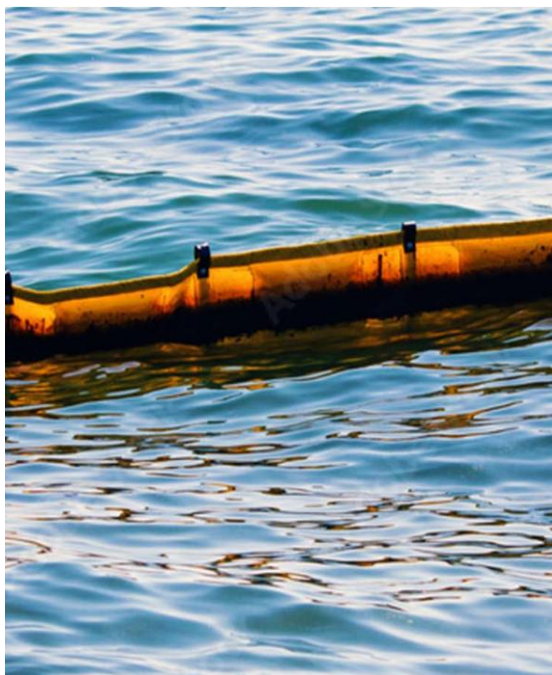


FIG. 43: EJEMPLO DEL USO DE LA ESPUMA EN RETENCIÓN DE PETRÓLEO <https://mattressrecyclingcouncil.org/research-completed-reports/>

CONCLUSIÓN

La investigación sobre la funcionalización superficial de espumas de poliuretano recicladas marca un hito en la valorización de residuos complejos provenientes del reciclaje de colchones. Mediante modificaciones químicas simples y escalables, se ha logrado transformar un material de bajo valor añadido en un sorbente altamente eficaz para la remediación ambiental, con capacidades de absorción muy superiores a las de los productos comerciales convencionales.

Este avance no solo mejora la eficiencia técnica en la gestión de derrames de hidrocarburos, sino que también abre la puerta a aplicaciones versátiles en filtración, descontaminación de aguas o sectores agrícolas. La metodología desarrollada, basada en condiciones de operación accesibles y bajo coste, permite su implementación en infraestructuras industriales existentes, lo que favorece su potencial de replicabilidad a gran escala.

En el marco de una economía circular aplicada a los residuos voluminosos, esta propuesta representa una sinergia clara entre sostenibilidad ambiental y valorización tecnológica. Al dotar a la espuma de poliuretano reciclada de nuevas funcionalidades de alto valor, se establece una alternativa viable al vertido o al downcycling, contribuyendo a incrementar significativamente las tasas de reciclaje de colchones y a cerrar el ciclo de vida de uno de sus componentes más problemáticos.

3.2. FRANCIA: RENUVA

El programa RENUVA™, desarrollado por la compañía química Dow, constituye una de las iniciativas más relevantes en el **marco de la transición hacia una economía circular** aplicada al sector de los materiales poliméricos. Su objetivo principal es abordar el problema ambiental derivado del desecho masivo de colchones, mediante el reciclaje químico de espumas de poliuretano (PU), transformándolas en nuevos poliols reutilizables para la fabricación de espumas flexibles.

Cada año, en Europa, se desechan cerca de 30 millones de colchones, generando un volumen de residuos considerable, cuya gestión presenta altos costes económicos y ambientales (EBIA, 2021; Ecomove, 2022). De estos residuos, aproximadamente el 60% es destinado a vertederos, mientras que otro porcentaje significativo se incinera. Ambas prácticas implican la pérdida de materiales valiosos y la generación de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático. (Fig. 44)

En este contexto, el programa RENUVA™ surge como respuesta a la necesidad de una gestión más eficiente y sostenible de estos residuos voluminosos. Su planteamiento se alinea con los principios de la economía circular al promover el reingreso de materias primas secundarias en la cadena de valor industrial, reduciendo la dependencia de recursos vírgenes y disminuyendo el impacto ambiental del sector.

A diferencia del reciclaje mecánico, que presenta **limitaciones en cuanto a la calidad** y las aplicaciones del material reciclado, el reciclaje químico permite la despolimerización controlada de las espumas de PU hasta obtener poliols recuperados, es decir, uno de los componentes básicos para la síntesis de nuevas espumas. La tecnología utilizada en el programa RENUVA™ permite:

Recuperar el polirol original a partir de espumas usadas. Eliminar impurezas que impidan su reutilización. Adaptar el material reciclado a formulaciones comerciales mediante controles precisos de calidad.

El proceso se realiza en una planta a escala industrial ubicada en Semoy (Francia), gestionada por la empresa Orrion Chemicals Orgaform, la cual opera el **primer reactor industrial de reciclaje químico de PU**. Esta planta tiene capacidad para reciclar hasta 200.000 colchones anualmente, convirtiendo sus espumas en poliols reutilizables de alta calidad (PU Europe, 2022; Rethink PU, 2023). Los beneficios del programa han sido validados mediante análisis de ciclo de vida (ACV) llevados a cabo por entidades externas. Entre los resultados más destacados se encuentran:

Una reducción del 54% de las emisiones de CO₂ equivalentes frente a la producción convencional de poliols a partir de fuentes fósiles. Una disminución del 29% en el uso de recursos energéticos, incluidos combustibles fósiles. Una reducción del 14% en el impacto sobre los ecosistemas acuáticos, derivado del menor uso de agua en el proceso. Uno de los pilares del éxito de RENUVA™ es la colaboración entre múltiples agentes de la cadena de valor del colchón y del poliuretano. Las entidades participantes más relevantes son:

Dow: empresa responsable del desarrollo y liderazgo del programa. Ecomaison: sistema francés de responsabilidad ampliada del productor (RAP), encargado de la recogida y pretratamiento de colchones usados. Orrion Chemicals Orgaform: operador de la planta de reciclaje químico en **Semoy H&S Anlagentechnik:** empresa que ha desarrollado y suministrado el sistema de reciclaje. The Vita Group: fabricante de espumas de poliuretano que emplea los polioles reciclados en la producción de nuevos productos bajo la marca Orbis™.

El programa RENUVA™ ha recibido diversos premios y reconocimientos a nivel europeo por su enfoque innovador y su contribución a la sostenibilidad. En particular, fue galardonado por el Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC) en los European Responsible Care® Awards de 2022, en la categoría de economía circular.

CONCLUSIÓN

El programa RENUVA™, impulsado por Dow, representa una solución pionera y eficaz frente al desafío ambiental que supone la gestión masiva de colchones desechados en Europa. Mediante el reciclaje químico de espumas de poliuretano, este proyecto permite recuperar polioles de alta calidad aptos para su reincorporación en la industria, reduciendo significativamente tanto las emisiones de CO₂ como el consumo energético y de agua.

Su enfoque se alinea plenamente con los principios de la economía circular, demostrando que la colaboración entre empresas químicas, gestores de residuos, operadores industriales y fabricantes puede generar modelos sostenibles, escalables y replicables. Con una planta operativa capaz de reciclar hasta 200.000 colchones anuales, RENUVA™ no solo transforma residuos en recursos, sino que también marca un camino claro hacia una industria más responsable e innovadora.



FIG. 44: PROGRAMA RENUVA <https://www.linkedin.com/pulse/programa-renuva-un-nuevo-ciclo-para-espumas-de-edilson-machado-emba/>

3.3. FRANCIA: RECYC-MATELAS EUROPE

Recyc-Matelas Europe (RME) es una empresa francesa líder en el reciclaje de colchones al final de su vida útil. Fundada en 2010 por Franck Berrebi y Jérémy Settbon, RME se ha consolidado como pionera en la economía circular aplicada al sector de la cama, destacando por su enfoque integral que combina innovación tecnológica, impacto ambiental positivo y compromiso social. RME nace con el propósito de ofrecer una alternativa sostenible al destino tradicional de los colchones desechados, que en su mayoría terminaban en vertederos o incineradoras. Su misión se centra en transformar estos residuos voluminosos en recursos valiosos, promoviendo la reutilización de materiales y reduciendo la huella ecológica asociada a la producción de nuevos productos.

El proceso de reciclaje implementado por RME es meticuloso y eficiente. Los colchones recolectados son transportados a sus instalaciones, donde se someten a un proceso de desmontaje manual y mecanizado. Durante este proceso, se separan los diferentes componentes del colchón, como espumas, textiles y estructuras metálicas. Posteriormente, estos materiales son clasificados y preparados para su reutilización en diversas industrias, como la automotriz, la construcción y la fabricación de nuevos productos de descanso. (Fig. 45)

RME ha logrado reciclar más de 25,000 toneladas de colchones anualmente, recuperando aproximadamente el 93% de los materiales para su reutilización. Este enfoque no solo reduce significativamente la cantidad de residuos enviados a vertederos, sino que también **disminuye la demanda de materias primas vírgenes**, contribuyendo a la conservación de recursos naturales y a la mitigación del cambio climático (RME, 2023; Ecomove, 2022).

Además de su impacto ambiental, RME se distingue por su compromiso social. Desde 2013, la empresa está acreditada como "Entreprise d'Insertion", lo que implica un enfoque activo en la integración laboral de personas en situación de vulnerabilidad. RME ofrece programas de formación y empleo a individuos que enfrentan barreras para acceder al mercado laboral, promoviendo la inclusión y el desarrollo de habilidades en un entorno de trabajo sostenible.

RME **opera actualmente en múltiples sitios** en Francia y Bélgica, incluyendo Limay, Mortagne-sur-Sèvre, Langon, Toul y Sombrefe. En colaboración con empresas como Veolia y SUEZ, ha desarrollado instalaciones avanzadas de reciclaje, como la planta en Langon, que combina operaciones manuales y automatizadas para optimizar la recuperación de materiales. Además, en 2023, RME adquirió Ecomatelas, una empresa especializada en la revalorización de colchones, fortaleciendo así su posición en el mercado y ampliando su oferta de productos sostenibles.

CONCLUSIÓN

Recyc-Matelas Europe ejemplifica cómo una gestión innovadora y responsable de residuos puede transformar un problema ambiental en una oportunidad sostenible. Mediante un proceso de reciclaje eficiente que recupera el 93% de los materiales de colchones desechados, RME reduce significativamente la presión sobre vertederos y la demanda de materias primas vírgenes, alineándose con los objetivos de la economía circular y la acción climática.

Su modelo de negocio no solo destaca por su rendimiento ambiental, sino también por su firme compromiso social, facilitando la inclusión laboral de personas en situación de vulnerabilidad. La combinación de impacto ecológico y compromiso humano, junto con la expansión de su red de instalaciones y alianzas estratégicas, consolida a RME como referente europeo en la valorización de residuos voluminosos.



FIG. 45: PROCESO DESMONTAJE RECYC-MATELAS <https://www.linkedin.com/in/william-avignon/?originalSubdomain=fr>

3.4. PAISES BAJOS RETOURMATRAS PLANT

RetourMatras es una empresa neerlandesa fundada en 2009, especializada en el reciclaje sostenible de colchones al final de su vida útil. A través de procesos innovadores, la compañía **transforma estos residuos en materias primas reutilizables**, contribuyendo significativamente a la economía circular y a la reducción de emisiones de CO₂. Desde su creación, RetourMatras ha desarrollado métodos propios y altamente automatizados para el desmantelamiento de colchones, permitiendo la recuperación de más del 80% de los materiales, incluyendo espuma de poliuretano (PU), metal, textil y látex. Este enfoque ha posicionado a la empresa como líder en el reciclaje de colchones en los Países Bajos y ha facilitado su expansión a otros países europeos, como Bélgica, Reino Unido y Francia.

Actualmente, RetourMatras opera seis plantas de reciclaje: cuatro en los Países Bajos (Alphen aan den Rijn, Lelystad, Zeeland y Etten-Leur) y dos en el Reino Unido. Estas instalaciones tienen una capacidad combinada para reciclar hasta 2,5 millones de colchones al año. En 2023, la empresa recicló aproximadamente 1,6 millones de unidades, evitando la emisión de más de 76 millones de kilogramos de CO₂ en comparación con la incineración (RetourMatras, 2023; Renewi, 2023).

Una de las principales innovaciones de RetourMatras es la **conversión de espuma de PU en repoliól**, un componente esencial para la fabricación de nueva espuma. Este proceso de reciclaje químico, implementado en su planta de Lelystad, permite reutilizar materiales previamente considerados no reciclables, cerrando el ciclo de vida del producto y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

RetourMatras cuenta con el respaldo de importantes socios, incluyendo Ingka Investments (brazo inversor de Ingka Group, principal franquiciado de IKEA), Renewi (empresa de gestión de residuos) e Ikano Industry (fabricante de espuma de PU). Estas alianzas han sido fundamentales para escalar sus operaciones y promover prácticas sostenibles en la industria del mueble.

El modelo de negocio de RetourMatras contribuye significativamente a la reducción de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que reciclar un colchón con su método evita la emisión de 76 kg de CO₂ en comparación con su incineración (CE Delft, 2022). Además, la empresa colabora con municipios, minoristas y hoteles para facilitar la recolección y reciclaje de colchones, promoviendo una gestión de residuos más responsable y sostenible.



FIG.46: COLCHONES ALMACENADOS <https://lelystad.nieuws.nl/nieuws/oude-matras-inleveren-via-retourmatras>

CONCLUSIÓN

RetourMatras se ha consolidado como un referente europeo en el reciclaje de colchones, gracias a su enfoque tecnológico avanzado y su firme compromiso con la sostenibilidad. Con una capacidad industrial que permite reciclar millones de colchones al año y evitar la emisión de decenas de millones de kilogramos de CO₂, su modelo demuestra que es posible transformar residuos voluminosos en recursos valiosos a través de procesos automatizados y eficientes.

Su apuesta por la innovación —como la conversión de espuma de poliuretano en repoliól— permite cerrar el ciclo de vida de materiales tradicionalmente difíciles de reciclar, reduciendo la dependencia de materias primas fósiles. Además, el respaldo de socios estratégicos como IKEA y Renewi ha sido clave para escalar su impacto y extender su alcance a nivel internacional.

3.5. ALEMANIA: BASF Y NAVEÓN

BASF SE (Badische Anilin- & Soda-Fabrik) es una empresa multinacional de origen alemán fundada en 1865 y con sede en Ludwigshafen am Rhein, Alemania. Está considerada la compañía química más grande del mundo, con una estructura empresarial que abarca más de 90 países y más de 112.000 empleados. Su actividad se extiende en cinco grandes segmentos: productos químicos, materiales, soluciones industriales, nutrición y cuidado, y soluciones agrícolas.

La visión de BASF combina el éxito económico con la protección ambiental y la responsabilidad social, lo que le ha permitido posicionarse como un referente en innovación industrial sostenible. Su lema corporativo, "We create chemistry for a sustainable future", refleja este compromiso con el desarrollo de soluciones orientadas a los principios de la economía circular, la neutralidad climática y la eficiencia de recursos.

En el marco de su estrategia de economía circular, BASF ha desarrollado una línea de investigación aplicada al reciclaje químico de colchones, con el objetivo de cerrar el ciclo de vida de los poliuretanos (PU), uno de los materiales predominantes en la fabricación de espumas para descanso.

El enfoque de BASF se centra en un reciclaje químico avanzado mediante el cual se **descompone la espuma de poliuretano flexible** en sus componentes originales, principalmente polioles. A diferencia del reciclaje mecánico, este método preserva la calidad del material reciclado, lo que permite reutilizarlo en nuevos productos con las mismas propiedades que los materiales vírgenes. BASF ha establecido una alianza estratégica con NEVEON, una empresa del grupo Greiner especializada en la producción de espumas. Esta colaboración ha permitido: (Fig. 49)

Desarrollar un prototipo de colchón reciclado con hasta un 80% de contenido reciclado en el componente de polioli (BASF, 2022). Probar con éxito los colchones en el Hotel René Bohn, propiedad de BASF, como caso piloto de circularidad en la industria hotelera. Fomentar el ecodiseño: estos nuevos colchones eliminan el uso de adhesivos, sustituyéndolos por sistemas de cremalleras, lo que facilita su desmontaje y posterior reciclaje. Como parte del esfuerzo conjunto, NEVEON ha implementado el programa REMATTRESS en Berlín. Este proyecto piloto permite recoger colchones usados para su tratamiento, recuperando espumas de PU mediante los procesos desarrollados por BASF. El reciclaje de colchones es un reto ambiental debido a su volumen, composición mixta y baja tasa de reciclaje. La solución de BASF permite:

Reducir significativamente las **emisiones de CO₂** respecto a la incineración. Evitar el vertido de materiales no biodegradables. Sustituir el uso de materias primas fósiles por materiales reciclados en un entorno industrialmente viable. Actualmente, BASF trabaja en escalar industrialmente este proceso, desarrollando capacidades para producir polioles reciclados a gran escala, con vistas a un modelo circular plenamente operativo en la cadena de valor del descanso.

CONCLUSIÓN

BASF demuestra que la innovación industrial puede ser motor clave en la transición hacia una economía circular, especialmente en sectores complejos como el del descanso. A través de su estrategia de reciclaje químico de espumas de poliuretano, la compañía ofrece una solución avanzada y viable para cerrar el ciclo de vida de materiales difíciles de tratar, preservando la calidad del producto reciclado e integrándolo nuevamente en la cadena de valor.

La colaboración con NEVEON y el desarrollo del programa REMATTRESS evidencian un enfoque integral que combina tecnología, ecodiseño y aplicación real en contextos como el sector hotelero. Este modelo no solo reduce emisiones y evita residuos, sino que también allana el camino hacia una industria más circular, escalable y climáticamente responsable.



FIG.49: PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA ESPUMA EN MATERIA PRIMA <https://www.basf.com/es/es/media/news-releases/2022/basf-y-neveon-colaboran-en-el-reciclaje-de-colchones>

3.6 UK: JBS FIBRE RECOVERY

JBS Fibre Recovery Ltd. es una empresa británica especializada en el reciclaje industrial de colchones, reconocida por su liderazgo en la gestión sostenible de residuos voluminosos a nivel nacional. Fundada con el objetivo de ofrecer soluciones ambientalmente responsables en la economía circular, esta entidad ha desarrollado e implementado tecnologías propias para el desmantelamiento, separación y valorización de los materiales que componen los colchones al final de su vida útil.

En términos operativos, JBS procesa anualmente más de 800.000 colchones, lo que representa la recuperación de más de 20.000 toneladas de residuos que, de otro modo, se destinarían a vertederos (WRAP UK, 2022; JBS, 2023). Su red de instalaciones incluye plantas localizadas en Telford, Milton Keynes, Bridgend y Burton-upon-Trent, con planes recientes de expansión hacia Bristol. La empresa colabora activamente con entidades públicas y privadas, incluyendo autoridades locales (como los consejos de Pembrokeshire y Bridgend), grandes minoristas (por ejemplo, Silentnight, Argos) y empresas del sector hotelero.

El proceso técnico implementado por JBS se articula en torno a un sistema interno de recuperación de fibras en cinco etapas, que permite alcanzar una tasa de reciclaje del 100% de los materiales recuperados. Cada tipo de componente es tratado mediante metodologías específicas, optimizadas para maximizar su reutilización en distintos sectores industriales: (Fig. 50)

Espuma de poliuretano (PU): Se estima una recuperación mensual de aproximadamente 2.000 toneladas. De esta cantidad, unas 600 toneladas son reprocesadas en la planta de Burton-upon-Trent para la fabricación de bajoalfombras, utilizadas tanto en el mercado nacional como en países europeos como España, Malta y regiones de Escandinavia.

Componentes metálicos (acero): Los muelles y marcos de acero se separan y se funden a altas temperaturas (superiores a 900 °C) para su posterior conversión en nuevos productos industriales, como grapas, piezas metálicas y latas.

Fibras textiles (poliéster y algodón): Se recuperan alrededor de 400 toneladas mensuales, destinadas a la fabricación de productos de consumo como almohadas, edredones y acolchados.

Fieltro negro: Este material, comúnmente empleado como capa interna en colchones, se refuerza con polipropileno para la producción de alfombrillas técnicas utilizadas en la industria automotriz.

Madera: Los componentes estructurales de madera, presentes principalmente en bases o somieres, son convertidos en combustible derivado de residuos (RDF), disminuyendo así la presión sobre los recursos forestales y contribuyendo a la producción energética alternativa.

Desde una perspectiva medioambiental, el modelo de negocio de JBS Fibre Recovery genera múltiples beneficios, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del uso de materias primas vírgenes. La empresa contribuye de forma significativa al cumplimiento de los objetivos nacionales del Reino Unido en materia de gestión sostenible de residuos y neutralidad climática. Adicionalmente, JBS mantiene un compromiso activo con la inclusión social y el empleo responsable. En colaboración con el gobierno de Gales, la empresa ha absorbido personal afectado por cierres industriales, ofreciendo oportunidades de reinserción laboral a trabajadores con diversidad funcional, fortaleciendo así su dimensión social.



FIG.50: PROCESO DE RECICLAJE <https://recoverfiber.com/>

CONCLUSIÓN

JBS Fibre Recovery Ltd. se posiciona como un modelo ejemplar de economía circular aplicada a la gestión de colchones en desuso, combinando eficiencia tecnológica, responsabilidad ambiental y compromiso social. Su capacidad para reciclar el 100% de los materiales recuperados, mediante procesos especializados y adaptados a cada componente, demuestra que es posible una valorización integral y sostenible de residuos voluminosos.

La empresa no solo reduce significativamente la carga ambiental al evitar el vertido de miles de toneladas de residuos, sino que también promueve una cadena de valor secundaria activa, reutilizando materiales en sectores como la construcción, el automotriz y el textil. Su expansión, junto con alianzas estratégicas y una política activa de inclusión laboral, refuerzan su impacto positivo en el territorio.

3.7. UK FURNITURE RECYCLING GROUP

The Furniture Recycling Group Ltd., conocido como TFR Group, es una empresa británica pionera en el desarrollo de soluciones sostenibles para el reciclaje y la reutilización de colchones. Fundada en 2012, esta organización ha evolucionado hasta convertirse en un actor clave dentro del sistema de economía circular en el Reino Unido, ofreciendo alternativas industriales a la eliminación convencional de colchones mediante vertido o incineración. A través de una combinación de innovación tecnológica, eficiencia operativa y compromiso medioambiental, TFR Group ha logrado transformar un residuo históricamente complejo en una fuente viable de materiales secundarios con alto potencial de valorización.

Desde su creación, la empresa ha reciclado más de 3,5 millones de colchones, lo que equivale a aproximadamente 30.000 toneladas de residuos desviados de vertederos. Su infraestructura permite actualmente el procesamiento de alrededor de 16.000 colchones por semana, cifra que representa un estimado del 8,17 % del flujo total anual de colchones desechados en el país (TFR Group, 2023). Esta capacidad operativa convierte a TFR Group en uno de los mayores recicladores de colchones a escala europea.

El proceso técnico de reciclaje implementado por TFR Group está diseñado para **maximizar la recuperación de materiales** reutilizables a través de una cadena de separación mecanizada y manual altamente optimizada. El proceso comienza con el desmontaje sistemático de cada colchón, que es deconstruido en hasta 19 componentes diferentes. Esta fragmentación detallada permite una clasificación precisa de los materiales, que posteriormente son sometidos a limpieza, desinfección y procesamiento específico. La tasa de recuperación de materiales supera el 90%, y el 100% del residuo tratado se desvía del vertido, gracias a su uso en procesos de reciclado o valorización energética.

Uno de los desarrollos tecnológicos más notables de TFR Group es su **sistema automatizado para el reciclaje de muelles ensacados** (pocket springs), un componente particularmente difícil de separar debido a su estructura encapsulada en textil no tejido. Esta innovación industrial permite el procesamiento de cada unidad de muelles en aproximadamente 2,5 minutos, mediante la extracción mecánica de los resortes de acero y su separación del polipropileno encapsulante. Este avance ha revolucionado la capacidad de tratamiento de colchones modernos, que suelen incorporar este tipo de sistemas de confort en su arquitectura interna. (Fig. 51)

Paralelamente al reciclaje, TFR Group ha desarrollado una línea de negocio complementaria basada en el **“rejuvenecimiento” de colchones**, especialmente enfocada a los productos devueltos por los consumidores bajo políticas de garantía de confort o devolución comercial. Esta línea se fundamenta en la reutilización segura y certificada de colchones en buen estado mediante un proceso técnico que incluye la inspección estructural, el recambio de fundas y una limpieza profunda con tecnología sanitaria homologada por el NHS (National Health Service). Gracias a este proceso, se reintroducen al mercado colchones reacondicionados a precios asequibles, reduciendo así la demanda de materias primas vírgenes y prolongando el ciclo de vida del producto.

Desde el punto de vista del impacto ambiental, un estudio independiente desarrollado por la consultora Oakdene Hollins en 2024 cuantificó que las actividades de reciclaje y reacondicionamiento de TFR Group evitaron la emisión de 36.974 toneladas de CO₂ equivalente durante el año 2023, en comparación con los modelos tradicionales de eliminación (vertido e incineración). Esta reducción significativa en la huella de carbono está alineada con las políticas británicas y europeas de transición ecológica y neutralidad climática.

En cuanto a las colaboraciones estratégicas, TFR Group ha establecido **importantes alianzas** institucionales y comerciales. Una de las más destacadas es la desarrollada con IKEA Reino Unido, mediante la cual se implementó un servicio integral de recogida y reciclaje de colchones, destinado a los clientes que adquirirían nuevos productos en la firma sueca. Esta iniciativa ha facilitado el tratamiento responsable de los residuos generados por el consumo doméstico, y se ha convertido en un modelo replicable para otras cadenas minoristas.

Asimismo, la empresa ha colaborado con entidades académicas como la Universidad de St Andrews, para gestionar de forma sostenible los colchones desechados en residencias universitarias. En dicho programa, se logró reciclar más de 2.000 colchones y ropa de cama, dando lugar a nuevos materiales utilizados en productos industriales y de consumo, como paneles de aislamiento o alfombrillas acústicas.

En su dimensión corporativa, TFR Group ha anunciado su intención de ampliar su capacidad hasta poder procesar 1,5 millones de colchones por año, con el apoyo de RetourMatras, empresa neerlandesa líder en reciclaje de colchones. Esta colaboración transnacional posiciona a TFR como parte de una red europea de excelencia en reciclaje textil y de espumas, y refleja la creciente profesionalización del sector en el contexto de los objetivos europeos de economía circular.



FIG. 51: PAQUETE DE MUELLES DE COLCHONES <https://www.bigfurnituregroup.com/green-retail-with-ikea-and-the-furniture-recycling-tfr-group/>

CONCLUSIÓN

TFR Group representa un ejemplo sobresaliente de cómo la innovación tecnológica, la eficiencia operativa y la responsabilidad ambiental pueden converger en un modelo empresarial de reciclaje exitoso y sostenible. Con una capacidad de procesamiento líder en Europa, la empresa ha logrado desviar millones de colchones del vertido, recuperando más del 90% de sus materiales y evitando emisiones significativas de CO₂, en clara sintonía con las metas de descarbonización y economía circular del Reino Unido y la UE.

Su capacidad para tratar componentes complejos, como los muelles ensacados, y su apuesta por el reacondicionamiento de colchones devueltos refuerzan una estrategia integral de prolongación del ciclo de vida del producto. Además, las colaboraciones estratégicas con IKEA, instituciones académicas y actores europeos como RetourMatras consolidan a TFR como nodo esencial en una red europea de reciclaje avanzado.

3.8. ESPAÑA RECYPUR

RECYPUR S.L. es una empresa española con sede en Carlet (Valencia), especializada en el reciclaje de espumas de poliuretano (PUR) procedentes de colchones fuera de uso (CFU). Se trata de un caso paradigmático de innovación industrial al servicio de la sostenibilidad, enmarcado dentro de los principios de la economía circular y la valorización de residuos voluminosos. Su actividad se centra en la recuperación de materiales que, tradicionalmente, han supuesto un importante reto ambiental debido a su volumen, complejidad estructural y escasa degradabilidad.

RECYPUR es una filial del Grupo Delax, compañía española especializada en sistemas de descanso. La planta de reciclaje en Carlet supuso una inversión inicial superior a los 7 millones de euros, destinada a la adquisición de tecnología industrial de última generación, procedente de España, Francia y Alemania. Dicha instalación se ha consolidado como la **más avanzada del país** en el tratamiento y revalorización de poliuretano post-consumo, permitiendo procesar aproximadamente 7.500 colchones al mes, equivalentes a unas 40 toneladas mensuales de espuma PUR. A partir de este proceso, la empresa es capaz de generar hasta 1.200 kilogramos por hora de materia prima secundaria, lo que se traduce en una producción anual estimada de 250.000 núcleos de colchón reciclado. (Fig. 51)

El proceso de reciclaje de RECYPUR es íntegramente mecánico, sin implicación de tratamientos químicos ni térmicos, lo que permite minimizar la huella de carbono asociada a la actividad industrial. Las etapas técnicas que configuran este proceso son:

La recogida de colchones fuera de uso se realiza mediante *convenios con entidades gestoras de residuos*, como EMTRE, a través de puntos limpios y centros municipales. Una vez recibidos, los colchones son identificados y desmontados mecánicamente, separando sus componentes principales: espuma de poliuretano (PUR), elementos metálicos, textiles y estructuras rígidas (EMTRE, 2023; Fundación ECOLUM, 2021). La espuma PUR se tritura hasta obtener un granulado homogéneo, adecuado para su reutilización. Este material se compacta mediante prensado, y en algunos casos, se mezcla con polioles vírgenes para generar bloques de espuma reciclada (r-PUR), con propiedades adaptadas a nuevos usos. El material resultante puede ser reincorporado en la producción del propio reciclador o bien en otros sectores industriales, como la construcción o la fabricación de mobiliario, cerrando así el ciclo de vida del colchón bajo un enfoque de economía circular.

Este proceso garantiza un aprovechamiento integral de los recursos: el 100 % del metal y del poliuretano son valorizados, mientras que los textiles –actualmente más difíciles de tratar– constituyen la próxima línea de investigación tecnológica para su integración circular.

RECYPUR es la primera empresa española del sector del reciclaje de colchones en obtener el certificado de circularidad 360° de AENOR, acreditación que valida formalmente la trazabilidad de todos los procesos industriales, la reducción del impacto ambiental y el cumplimiento de los principios de la economía circular. Este distintivo reconoce que el 100% del residuo tratado por la empresa es reincorporado como recurso en ciclos industriales equivalentes o superiores.

Desde el punto de vista medioambiental, la actividad de RECYPUR evita anualmente que 4.500 toneladas de espuma de poliuretano terminen en vertederos, lo cual tiene un efecto directo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: por cada kilogramo de espuma reciclada, se estima una reducción de 4 kilogramos de CO₂ en comparación con el destino a vertedero o incineración.

La empresa mantiene **alianzas estratégicas con entidades como EMTRE** (Entidad Metropolitana para el Tratamiento de Residuos), que actúa como suministrador de CFU, y con instituciones públicas y privadas interesadas en implementar modelos de gestión de residuos sostenibles. Asimismo, colabora con otras empresas del sector, como Recimatt, que complementa la cadena de valor desde la recogida y clasificación de los colchones hasta la entrega a planta.

Este ecosistema industrial refuerza la replicabilidad del modelo y permite su adaptación en otros territorios con problemáticas similares. En conjunto, RECYPUR se constituye como una infraestructura clave dentro del sistema nacional de economía circular, tanto por su aportación técnica como por su papel en la transformación de residuos urbanos en nuevas oportunidades industriales.

CONCLUSIÓN

RECYPUR S.L. representa un modelo industrial ejemplar de economía circular aplicada al reciclaje de colchones en España. Gracias a una planta altamente tecnificada y a un proceso mecánico de bajo impacto ambiental, ha logrado transformar uno de los residuos urbanos más complejos en materia prima secundaria con aplicaciones industriales reales. La valorización del 100% del poliuretano y los metales tratados, junto con el desarrollo de un producto reciclado competitivo, evidencia la viabilidad técnica y económica de su modelo.

La certificación de circularidad 360° de AENOR y sus alianzas estratégicas con entidades como EMTRE refuerzan su liderazgo y compromiso con la sostenibilidad. Además, su impacto ambiental positivo —en términos de reducción de vertidos y emisiones de CO₂— sitúa a RECYPUR como una infraestructura clave en la transición hacia un sistema de producción y consumo más responsable.

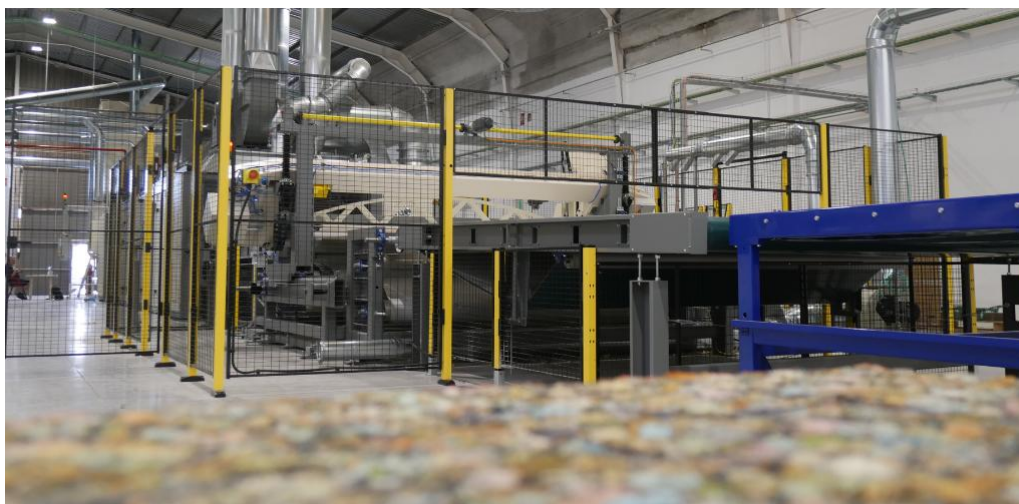


FIG. 52: PROCESO DE FABRICACIÓN DE AISLANTE RECYPUR <https://recypur.es/recypur-salva-al-planeta/>

3.9. ESPAÑA SMV SERVICIOS MEDIOAMBIENTALES DE VALENCIA

SMV Servicios Medioambientales de Valencia es una empresa **especializada en la gestión integral de residuos** sólidos urbanos, industriales y asimilables, con una trayectoria consolidada en el ámbito del reciclaje de residuos voluminosos, especialmente colchones. Esta empresa ha desarrollado uno de los sistemas más avanzados a nivel nacional para el tratamiento y valorización de colchones fuera de uso, contribuyendo de forma activa a la economía circular y a la reducción de la presión sobre los vertederos.

Desde el año 2012, SMV ha gestionado más de un millón de unidades de colchones, lo que equivale a una recuperación aproximada de 35.000 toneladas de materiales (ADEME, 2022; SMV, 2023). El proceso de reciclaje se basa en una metodología de deconstrucción mecánica altamente especializada, que permite el desmontaje integral de los colchones, separando sus diferentes componentes para su posterior valorización material. Esta técnica reduce significativamente el volumen de residuos no reciclables y mejora la eficiencia de recuperación. (Fig. 53)

El flujo técnico del proceso comienza con la **recepción y clasificación de los colchones**, seguida de una fase de desmontaje mecánico en la que se extraen los principales componentes: espumas, muelles, madera, textiles y materiales compuestos. Las espumas de poliuretano, que suelen representar entre el 25 y el 40% del peso total del colchón, se trituran para su utilización como relleno en mobiliario, aislamiento acústico o incluso como materia prima en nuevas espumas técnicas. En cuanto a los muelles metálicos, típicamente fabricados en acero al carbono, son extraídos, compactados y enviados a fundiciones para su reutilización en productos siderúrgicos.

La madera, procedente de las estructuras internas de los colchones o somieres, se somete a **procesos de trituración** para obtener astillas, serrín o virutas, que pueden utilizarse como biomasa en sistemas de calefacción, como lecho para animales o como materia prima en tableros aglomerados. Por su parte, los tejidos y recubrimientos, generalmente mezclas de poliéster y algodón, son más complejos de reciclar debido a su composición heterogénea, aunque algunos pueden valorizarse mediante procesos de reciclaje mecánico o como combustible en procesos de valorización energética.

Cabe destacar que SMV ha incorporado sistemas de trazabilidad para certificar el origen y destino de los materiales reciclados, lo que permite mejorar la transparencia y fiabilidad del proceso. Además, su sistema cumple con los estándares europeos de gestión de residuos y sostenibilidad, incluyendo directivas como la 2008/98/CE sobre residuos y la normativa REACH sobre sustancias químicas.

Desde el punto de vista medioambiental, el impacto positivo del reciclaje de colchones gestionado por SMV es significativo: por cada tonelada de colchones reciclados se estima un ahorro de hasta 1,8 toneladas equivalentes de CO₂, gracias a la reducción de materiales enviados a vertedero y la sustitución de materias primas vírgenes por recicladas. Asimismo, la empresa contribuye a la generación de empleo verde y a la innovación tecnológica en la gestión de residuos voluminosos.



FIG. 53: DESMONTAJE MANUAL DE COLCHÓN DE MUELLES <https://www.smv.es/razones-contribuir-reciclaje-colchones/>

CONCLUSIÓN

SMV se ha consolidado como un actor clave en la gestión sostenible de colchones fuera de uso en España, gracias a su enfoque tecnológico, su capacidad operativa y su alineación con los principios de la economía circular. Con más de un millón de unidades gestionadas y una recuperación superior a las 35.000 toneladas de materiales, la empresa demuestra que es posible convertir un residuo complejo y voluminoso en una fuente valiosa de materias primas secundarias.

Su sistema de deconstrucción mecánica permite un aprovechamiento eficiente de espumas, metales, madera y, en menor medida, textiles, reduciendo drásticamente los residuos no valorizables. A ello se suma la implementación de sistemas de trazabilidad, que refuerzan la transparencia y el cumplimiento normativo, así como su contribución a la reducción de emisiones y al empleo verde.

3.10. ESPAÑA: COMSERMANCHA

La Mancomunidad de Servicios Comsermancha es una entidad pública que agrupa a 21 municipios de las provincias de Ciudad Real, Toledo y Cuenca, en Castilla-La Mancha. Su principal objetivo es la gestión integral de residuos sólidos urbanos (RSU), promoviendo prácticas sostenibles y fomentando la economía circular en una región que abarca aproximadamente 180.000 habitantes.

En 2024, Comsermancha gestionó un total de 67.899,76 toneladas de residuos en contenedores grises, lo que representa un promedio de 368,43 kg por habitante al año. Además, se recogieron 2.047,44 toneladas de residuos orgánicos, 1.543,74 toneladas de vidrio, 2.682,56 toneladas de papel y cartón, y 2.179,34 toneladas de envases ligeros. Sin embargo, solo el 12% de los residuos generados en los hogares se depositaron correctamente en los contenedores selectivos, mientras que el resto se desechó en el contenedor gris de forma indiscriminada (Comsermancha, 2024). (Fig. 54)

En cuanto a los puntos limpios, se registró un incremento del 11,65% en la recogida de residuos voluminosos, alcanzando un total de 5.928,27 toneladas. La recogida de aceite vegetal usado también fue significativa, con 39.687 kg recuperados, evitando la contaminación de más de 43 millones de litros de agua.

Comsermancha ha implementado un **sistema específico para el reciclaje de colchones**, reconociendo la complejidad y el volumen que representan estos residuos. En 2022, la planta de tratamiento de RSU de Comsermancha procesó 142,88 toneladas de colchones, lo que demuestra su compromiso con la gestión eficiente de residuos voluminosos. (Comsermancha, 2024)

El proceso de reciclaje de colchones implica la **separación de materiales** como espumas, muelles metálicos, tejidos y madera, permitiendo su valorización y reutilización en diferentes industrias. Este enfoque contribuye a la reducción de residuos en vertederos y al aprovechamiento de recursos, alineándose con los principios de la economía circular.

La planta de tratamiento de RSU de Comsermancha, ubicada en Alcázar de San Juan, es una instalación avanzada que permite la clasificación y valorización de residuos. Además, la mancomunidad cuenta con puntos limpios distribuidos en los municipios asociados, facilitando a los ciudadanos la correcta disposición de residuos especiales y voluminosos.

Comsermancha también ha implementado **programas de educación ambiental**, campañas de concienciación y servicios de recogida selectiva, incluyendo la recogida de aceite vegetal usado y la limpieza de contenedores. Estas iniciativas buscan fomentar la participación ciudadana y mejorar la eficiencia en la gestión de residuos.

La mancomunidad ha adoptado medidas para mejorar la sostenibilidad financiera y operativa, como la unificación de tasas de residuos entre los municipios asociados y la implementación de planes de pago para reducir la deuda municipal. Además, se han adjudicado contratos para la venta de materiales reciclables y se han aprobado inversiones en infraestructura, como la ampliación de la planta de tratamiento de voluminosos.

Comsermancha continúa trabajando en la mejora de sus servicios y en la promoción de prácticas sostenibles, contribuyendo al desarrollo de un modelo de gestión de residuos más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

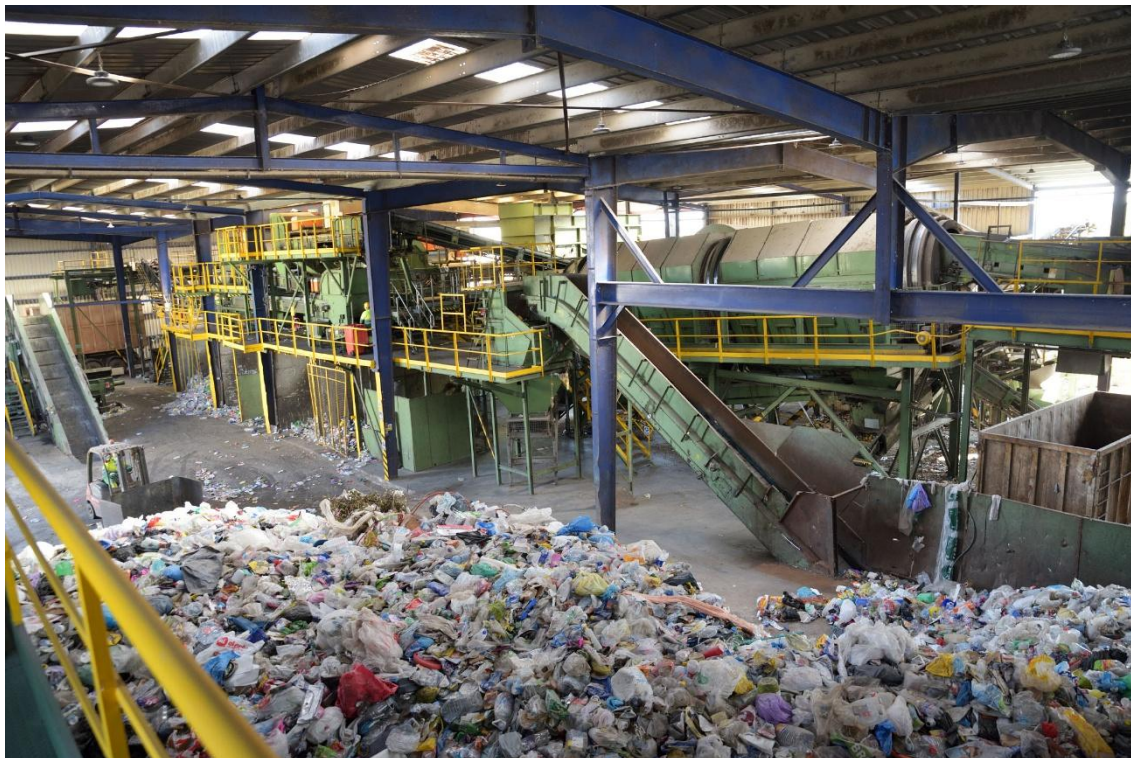


FIG.54: LA PLANTA DE CONSERMANCHA <https://comsermancha.es/noticias/112-la-planta-de-comsermancha-gestion%C3%B3-71-952-toneladas-de-basura-en-2019>

CONCLUSIÓN

Comsermancha representa un modelo consolidado de gestión pública regional de residuos, con un fuerte compromiso hacia la sostenibilidad y la economía circular. Su actuación coordinada en 21 municipios de Castilla-La Mancha ha permitido desarrollar una infraestructura integral que abarca desde la recogida selectiva y puntos limpios hasta el tratamiento especializado de residuos voluminosos como los colchones.

Aunque persisten retos en la correcta separación de residuos domésticos, el incremento en la recogida de residuos especiales y la implementación de programas de reciclaje de colchones muestran avances significativos hacia una gestión más eficiente y responsable. La planta de tratamiento en Alcázar de San Juan y las inversiones en ampliación y modernización refuerzan esta estrategia.

Además, el enfoque educativo y de participación ciudadana, unido a medidas de sostenibilidad financiera, convierte a Comsermancha en un referente para la colaboración intermunicipal en el ámbito de los residuos.

3.11. ESPAÑA: RECICOLCHÓN

Recicolchón es una empresa española especializada en la gestión y valorización de colchones usados, operando desde 2014 bajo la titularidad de VF Expertos S.L. Su actividad se centra en ofrecer soluciones medioambientalmente sostenibles para el tratamiento de colchones en desuso, facilitando su correcta gestión y promoviendo la economía circular mediante la reutilización de materiales derivados de estos productos. La empresa cuenta con instalaciones en la **localidad de Albacete**, desde donde coordina sus operaciones de recogida, desmontaje y reciclaje de colchones (Recicolchón, 2023). (Fig. 55)

Recicolchón **colabora con gestores** autorizados para asegurar que los colchones y sus componentes sean procesados adecuadamente, evitando su disposición en vertederos y fomentando su reintegración en procesos productivos. La empresa ofrece servicios a entidades que requieren gestionar grandes volúmenes de colchones almacenados, así como a aquellas interesadas en iniciar actividades de tratamiento de colchones o en la comercialización de materiales como espuma o látex postconsumo.

Los subproductos obtenidos del tratamiento de colchones, tales como espuma, látex y chatarra metálica, son destinados a diversas industrias para la elaboración de nuevos productos. Esta práctica contribuye a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular.

Recicolchón **opera en toda la Península Ibérica** y se presenta como una opción para aquellas organizaciones que buscan gestionar colchones usados de manera responsable y eficiente. La empresa proporciona información y asistencia a través de su sitio web y canales de contacto, facilitando el acceso a sus servicios.



FIG. 55: DEPÓSITO DE COLHONES <https://www.recicolchon.com/>

CONCLUSIÓN

Recicolchón se posiciona como un agente especializado en la gestión responsable de colchones usados en España, ofreciendo una solución eficaz y alineada con los principios de la economía circular. Su modelo de recogida, desmontaje y valorización de materiales como espuma, látex y metales permite reducir el impacto ambiental asociado al abandono de estos residuos voluminosos y facilita su reincorporación en procesos productivos.

Gracias a su red de colaboración con gestores autorizados y su cobertura operativa en toda la Península Ibérica, la empresa contribuye de forma significativa al desvío de residuos de los vertederos y al aprovechamiento eficiente de recursos. Además, su enfoque abierto a entidades públicas y privadas refuerza su papel como facilitador de soluciones circulares en distintos contextos territoriales.

3.12. RECPUR PUERTOLLANO (REPSOL)

La planta RECPUR, situada en el complejo industrial de Repsol en Puertollano (Ciudad Real), constituye la **primera instalación industrial en España** dedicada específicamente al reciclaje químico de espuma de poliuretano (PUR) procedente de productos de descanso como colchones, sofás y almohadas. Inaugurada en 2024, esta planta representa un avance estratégico dentro de los objetivos de Repsol para cerrar el ciclo de vida de los productos plásticos y fomentar una economía más circular y sostenible. (Fig. 56)

La motivación para el desarrollo de esta planta se enmarca en un contexto de creciente preocupación por la gestión de residuos voluminosos: en España se desechan anualmente más de tres millones de colchones, de los cuales una parte sustancial acaba en vertederos, a menudo ilegales, debido a la complejidad de su reciclado. Las espumas de poliuretano, que constituyen hasta un 40% del volumen de un colchón, son materiales sintéticos derivados del petróleo que hasta ahora se reciclaban principalmente por vías mecánicas o se incineraban. El reciclaje químico desarrollado en RECPUR supone una innovación radical, al permitir la descomposición molecular del poliuretano para recuperar uno de sus componentes básicos: el poliol.

El proceso tecnológico empleado es la **acidólisis**, una técnica de reciclaje químico que consiste en la reacción de la espuma de poliuretano con un agente ácido (ácidos orgánicos) en un entorno controlado de temperatura y presión. Mediante esta reacción, se rompe la estructura química del poliuretano y se liberan los polioles, compuestos esenciales que pueden reutilizarse como materia prima en la producción de nuevas espumas. A diferencia del reciclaje mecánico, la acidólisis permite obtener polioles reciclados de alta calidad, funcionalmente equivalentes a los de origen fósil. La tecnología aplicada ha sido desarrollada en colaboración con RAMPF Eco Solutions, una empresa alemana especializada en soluciones químicas sostenibles, que ha concedido a Repsol la exclusividad para operar esta tecnología en Europa.

La capacidad de tratamiento de la planta RECPUR es de aproximadamente 2.000 toneladas anuales de residuos de espuma de poliuretano, lo que equivale a unos 200.000 colchones. A partir de estos residuos, la planta puede producir hasta 5.000 toneladas anuales de poliol Repsol Reciclex®, una materia prima secundaria que contiene un 40% de contenido reciclado. Este producto se incorpora a nuevas formulaciones de espumas flexibles y rígidas utilizadas en sectores como el descanso, la automoción, la construcción y el aislamiento industrial (Repsol, 2023).

Desde el punto de vista ambiental, esta operación implica una **importante reducción de la huella de carbono** asociada al uso de polioles convencionales. Repsol estima que, por cada tonelada de poliol reciclado producido, se evita la emisión de entre 2 y 3 toneladas equivalentes de CO₂, además de reducir el consumo de agua y energía frente a los procesos tradicionales. Además, al integrarse dentro del complejo petroquímico de Puertollano, la planta se beneficia de sinergias logísticas, energéticas y de seguridad industrial, optimizando costes operativos y recursos técnicos.

En términos de infraestructura, la planta cuenta con una zona de recepción y almacenamiento de residuos, sistemas de trituración y pretratamiento, reactores de reciclaje químico, y áreas de filtrado, separación y envasado del producto final. También incluye sistemas avanzados de control de emisiones y tratamiento de efluentes líquidos y gaseosos, cumpliendo con los estándares más exigentes de la legislación medioambiental europea.

La puesta en marcha de RECPUR forma parte del plan estratégico de Repsol para transformar sus complejos industriales en **polos multienergéticos de bajas emisiones**, y se alinea con sus compromisos de descarbonización y transición energética, que incluyen alcanzar emisiones netas cero en 2050. Además, se enmarca dentro del programa de innovación industrial de Castilla-La Mancha, al posicionar a Puertollano como nodo clave de economía circular en el sur de Europa.

La planta RECPUR no solo representa una solución técnica al problema del reciclaje de colchones y espumas, sino que también introduce un nuevo modelo de negocio basado en la valorización de residuos complejos mediante tecnologías químicas avanzadas, abriendo nuevas vías para la sostenibilidad en la industria de los polímeros.

CONCLUSIÓN

La planta RECPUR de Repsol en Puertollano es la primera instalación en España dedicada al reciclaje químico de espumas de poliuretano, recuperando polioles de alta calidad mediante acidólisis. Con capacidad para tratar 2.000 toneladas de residuos anuales y producir 5.000 toneladas de polioles reciclados, reduce notablemente las emisiones de CO₂ y el uso de recursos fósiles. Integrada en el complejo petroquímico de Repsol, ejemplifica una solución eficiente y sostenible dentro de la economía circular.



FIG.56: PLANTA DE PUERTOLLANO <https://cadenaser.com/castillalamancha/2024/02/02/convirtiendo-un-subproducto-de-pesadilla-en-dulces-suenos-repsol-pone-en-marcha-en-puertollano-su-planta-recpur-ser-ciudad-real/>

3.13. ACTECO ALCORCÓN

La planta de reciclaje de colchones y residuos textiles que ACTECO proyecta en Alcorcón representa una iniciativa pionera en España, orientada a abordar los desafíos asociados a la gestión de residuos voluminosos y textiles mediante soluciones innovadoras y sostenibles. Este proyecto se desarrolla en colaboración con la Empresa de Servicios Municipales de Alcorcón (ESMASA) y cuenta con el respaldo estratégico de Repsol.

La instalación estará ubicada en el polígono industrial Ventorro del Cano, sobre una parcela cedida por el Ayuntamiento de Alcorcón. La inversión prevista asciende a 8,65 millones de euros, de los cuales se espera que hasta un 40% sea financiado a través de un Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) solicitado al Gobierno de España. (Ayuntamiento de Alcorcón, 2024) Este modelo de colaboración público-privada busca generar riqueza y empleo en la región, al tiempo que impulsa la industrialización sostenible del municipio. (Fig. 57)

Desde el punto de vista técnico, la planta estará diseñada para procesar residuos complejos como colchones, sofás, sillones y textiles, que presentan dificultades significativas para su reciclaje debido a su composición heterogénea. El proceso de reciclaje permitirá la recuperación y valorización de materiales como espumas de poliuretano, látex, muelles de acero, fibras naturales, poliéster, poliamida (nylon), polipropileno y mezclas multifibra. Estos materiales reciclados podrán ser reutilizados en diversas industrias, incluyendo la textil, la química, la automotriz y la de valorización energética.

En el caso específico de los colchones, la planta aplicará **técnicas avanzadas de separación** y tratamiento para recuperar componentes como la espuma de poliuretano, los muelles metálicos y los tejidos. La espuma de poliuretano, por ejemplo, podrá ser transformada en nuevos productos mediante procesos de reciclaje mecánico o químico, contribuyendo así a la economía circular y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

Además, la planta incorporará líneas de investigación y desarrollo (I+D) en colaboración con centros tecnológicos y universidades, con el objetivo de mejorar continuamente los procesos de reciclaje y explorar nuevas aplicaciones para los materiales recuperados. Esta orientación hacia la innovación posiciona a la planta como un referente en el ámbito del reciclaje de residuos complejos.

La elección de Alcorcón como ubicación estratégica para esta planta se alinea con la visión del municipio de convertirse en un **polo de economía circular**. La planta no solo proporcionará soluciones técnicas para el tratamiento de residuos, sino que también generará empleo local y fomentará la colaboración entre entidades públicas y privadas en pro de la sostenibilidad ambiental.

CONCLUSIÓN

a planta de reciclaje proyectada por ACTECO en Alorcón, en colaboración con ESMASA y con el respaldo estratégico de Repsol, representa una iniciativa pionera en España para abordar de forma integral el tratamiento de residuos voluminosos y textiles. Con una inversión significativa y una ubicación estratégica, esta instalación aportará soluciones tecnológicas avanzadas para la recuperación de materiales como espumas de poliuretano, metales y fibras textiles, permitiendo su reintroducción en sectores industriales diversos y fomentando la economía circular.

El proyecto destaca no solo por su enfoque técnico, sino también por su dimensión innovadora, al incorporar líneas de I+D orientadas a mejorar los procesos de reciclaje y explorar nuevos usos para los materiales recuperados. Esta apuesta por la investigación y la colaboración con centros tecnológicos refuerza el carácter transformador del proyecto.

Además de su impacto ambiental, la planta generará empleo local y contribuirá a la industrialización sostenible del municipio, alineándose con los objetivos de desarrollo económico y transición ecológica de Alorcón. En conjunto, la planta se perfila como un modelo replicable de colaboración público-privada, que combina sostenibilidad, innovación y dinamismo territorial.



FIG. 57: TRAILER DE ACTECO <https://www.acteco.es/gestion-residuos-alicante/>

4. RECICLAJE DE COLCHONES EN PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

La gestión de residuos voluminosos representa uno de los desafíos más acuciantes en las estrategias contemporáneas de sostenibilidad urbana. Entre ellos, los colchones destacan por su complejidad técnica y su elevado volumen, siendo uno de los productos de consumo con **menor índice de reciclaje** a pesar de su enorme potencial para la valorización material. Un colchón contiene múltiples componentes recuperables —principalmente espumas de poliuretano (PU), muelles metálicos, tejidos y fibras— que, con un tratamiento adecuado, pueden reincorporarse a ciclos productivos en diversos sectores industriales. No obstante, hasta la fecha, la mayor parte de estos residuos siguen destinándose a vertederos o, en el mejor de los casos, a procesos de reciclaje mecánico con escaso valor añadido. (Fig. 58)

En este contexto, el sector de la construcción se presenta como un campo emergente y de gran interés para la **integración de materiales reciclados** procedentes de colchones. La versatilidad físico-mecánica y las propiedades termoacústicas de algunos de estos componentes, especialmente los derivados del poliuretano, permiten su transformación en productos útiles como paneles aislantes, revestimientos o elementos de relleno, que podrían sustituir parcial o totalmente a materiales vírgenes.

Pese a estas oportunidades, la investigación sobre la reutilización de colchones como fuente de materiales constructivos sigue siendo incipiente, con escasa literatura científica y pocos casos de aplicación a escala industrial. Aun así, entre las aplicaciones más evidentes y técnicamente viables se encuentra la fabricación de paneles aislantes a partir de espumas de PU recicladas, que ya han demostrado buen comportamiento térmico y acústico en otros sectores. La exploración sistemática de este tipo de soluciones no solo contribuiría a reducir la carga medioambiental de los residuos de colchones, sino que también permitiría avanzar hacia una arquitectura más circular, eficiente y sostenible.



FIG. 58: COMPOSICIÓN COLCHÓN <https://www.istockphoto.com/es/fotos/colchon-roto>

4.1. UTILIZACIÓN DE POLIOLES RECICLADOS EN FABRICACIÓN DE ESPUMAS NUEVAS

El creciente volumen de residuos generados por espumas de poliuretano (PU), especialmente las provenientes de colchones desechados, plantea un desafío ambiental significativo y una oportunidad estratégica dentro del paradigma de la economía circular. En este contexto, el reciclaje químico, particularmente a través de procesos como **la glicólisis**, ha emergido como una vía eficaz para la valorización de estas espumas, permitiendo la obtención de polioles reciclados utilizables como materia prima en la producción de nuevos sistemas de poliuretano. (Fig. 59)

El poliuretano es un polímero termoestable formado por la **reacción de polioles con diisocianatos**. Su estructura reticulada impide su reprocesamiento térmico directo, por lo que el reciclaje químico resulta indispensable para su reaprovechamiento. En particular, la glicólisis consiste en la despolimerización del PU en presencia de glicoles (como dietilenglicol¹⁶ o propilenglicol) y catalizadores (tales como sales de estaño), operando a temperaturas entre 180–220 °C. Este proceso produce una mezcla de polioles reciclados con grupos hidroxilo reactivos, cuyas propiedades (como el valor OH y la viscosidad) pueden ser moduladas mediante ajustes en la estequiometría y las condiciones de reacción.

Investigaciones recientes han demostrado que los polioles reciclados, debido a su elevada densidad funcional (valores OH superiores a 290 mg KOH/g), son altamente reactivos y permiten la síntesis de composites híbridos orgánico-inorgánicos mediante su reacción con diisocianatos (como IPDI o TDI) y partículas minerales (zeolita clinoptilolita). Estos materiales exhiben propiedades mecánicas mejoradas, incluyendo:

Resistencia a flexión: hasta 16 MPa, superando en tres veces a la del cemento Portland ordinario (OPC). **Capacidad de deformación:** del orden del 12 %, frente al 0.2 % del OPC. Reducción de densidad: materiales con densidades entre 0.9–1.2 g/cm³, es decir, un 30–50 % más ligeros que el OPC. Las reacciones se llevan a cabo en condiciones suaves (25–50 °C), mediante técnicas sin disolvente, lo que permite reducir la toxicidad del proceso y su huella energética.

Los polioles reciclados también se han utilizado para sintetizar dispersiones de poliuretano en base acuosa, mediante un proceso de prepolimerización¹⁷ con isocianatos y compatibilizantes como DMPA (aniónico) o NMDA (catiónico). Las WPUDs obtenidas presentan: Tamaños de partícula: 60–100 nm, potencial zeta: ±40–80 mV, estabilidad coloidal comparable a productos comerciales, compatibilidad con adhesivos, recubrimientos y membranas funcionales.

Se ha verificado que el uso exclusivo de polioles reciclados **no compromete la estabilidad** ni las propiedades reológicas de las dispersiones, lo que refuerza su idoneidad como sustitutos de los polioles vírgenes en aplicaciones industriales. Entre los parámetros que influyen decisivamente en las propiedades de los materiales obtenidos se destacan:

¹⁶ Líquido incoloro, viscoso y soluble en agua, utilizado como disolvente, plastificante y en procesos de reciclaje químico como la glicólisis de poliuretanos.

Valor OH del poliol: los polioles reciclados como Infigreen-300 (290 mg KOH/g) generan más enlaces uretanos por unidad de masa, mejorando la red tridimensional del polímero. Tipo de diisocianato: el TDI (aromático) presenta mayor reactividad que el IPDI (alifático), lo cual permite reducir la temperatura de curado y mejora la resistencia mecánica de los composites. Proporción inorgánica: cargas minerales como la clinoptilolita hasta un 60 % en peso proporcionan rigidez estructural y contribuyen al aislamiento térmico y acústico. Contenido de PU total: composiciones óptimas del 30 % de PU en peso logran el mejor equilibrio entre resistencia mecánica y flexibilidad estructural.

Los materiales desarrollados a partir de poliuretano reciclado no solo muestran comportamientos mecánicos comparables o superiores al OPC, sino que también poseen propiedades funcionales avanzadas, como:

Aislamiento térmico superior: debido a la porosidad inherente y a la baja conductividad térmica de la matriz orgánica. **Atenuación acústica eficiente:** el diseño microestructural permite una absorción sonora mejorada, lo que los hace idóneos para aplicaciones en interiores. **Aplicaciones propuestas:** paneles estructurales ligeros, recubrimientos térmicos, bloques modulares, y elementos de amortiguación.

CONCLUSIÓN

La glicólisis del poliuretano permite recuperar polioles reciclados altamente funcionales, adecuados para fabricar materiales avanzados con mejores propiedades mecánicas, térmicas y acústicas que el cemento tradicional. Estos polioles también son aptos para dispersiones en base acuosa, ampliando su aplicación industrial. En conjunto, el proceso ofrece una vía eficaz para transformar residuos complejos como colchones en productos sostenibles y de alto valor añadido.



FIG. 59: TRITURADO DE ESPUMA DE POLIURETANO <https://www.levante-emv.com/ribera/2022/07/04/carlet-acogera-primera-fabrica-espana-67978183.html>

¹⁷ Es una etapa inicial de la síntesis de polímeros en la que los monómeros reaccionan parcialmente para formar cadenas cortas (prepolímeros), que luego se completan en una segunda fase de polimerización.

4.2. PROYECTOS DEL MRC

4.2.1. HORMIGONES CON PU RECICLADO DE COLCHONES

La espuma de poliuretano flexible (PUF), comúnmente utilizada en colchones, representa una fracción considerable de residuos postconsumo. Tradicionalmente, su valorización ha estado **limitada al reciclaje mecánico** con aplicaciones de bajo valor añadido, como el *carpet underlay*¹⁸. En respuesta a esta limitación, el presente estudio aborda una estrategia innovadora de reutilización de poliuretano reciclado como componente funcional en composites híbridos orgánico-inorgánicos, orientados a su aplicación en materiales de construcción estructurales y de aislamiento.

El núcleo de esta investigación radica en la síntesis de hormigones alternativos que combinan micropartículas minerales (zeolitas o arenas silíceas) con polioles obtenidos por glicólisis de espumas de PU y enlaces covalentes formados mediante diisocianatos. El resultado son composites altamente rellenos (hasta 60 % de inorgánico), con propiedades mecánicas, microestructurales y ambientales superiores a las del cemento Portland ordinario (OPC).

Los intentos anteriores de integrar poliuretano reciclado como agregado ligero en hormigones tradicionales habían fracasado debido a la **falta de adhesión entre matriz inorgánica y partícula orgánica**, lo que derivaba en una rápida pérdida de propiedades mecánicas, especialmente en compresión y flexión. Esta investigación propone un enfoque radicalmente distinto: no insertar partículas como relleno físico, sino generar una red híbrida covalente entre la fase orgánica (poliol reciclado) y la fase inorgánica, mediante reacciones entre grupos isocianato ($-NCO$) y grupos hidroxilo ($-OH$) presentes tanto en el poliol como en la superficie de los minerales. Los composites se fabricaron mediante un proceso libre de disolventes, a partir de tres componentes: (Fig. 60)

Poliol reciclado (Infigreen-300 o Infigreen-420A). Micropartículas minerales (zeolita clinoptilolita o arena silícea). Isocianato reactivo (isoforondiisocianato – IPDI). El proceso consiste en una **mezcla a temperatura ambiente o moderada** (25–50 °C) en moldes metálicos, con catálisis organometálica (DBTDL) y, opcionalmente, trietilamina. La ausencia de disolventes evita los problemas asociados a su uso industrial: toxicidad, costes de eliminación, volatilidad y elevada demanda energética. Este enfoque facilita una producción escalable, ambientalmente viable y de baja huella de carbono.

Las muestras obtenidas se evaluaron mediante ensayos de flexión en tres puntos. Los resultados más destacados son: Resistencia a flexión de hasta 16 MPa, equivalente a tres veces la del cemento Portland. Capacidad de deformación hasta del 12 %, frente al 0,2 % del OPC, lo que indica una ductilidad 100 veces superior. El mejor rendimiento mecánico se alcanzó con la composición I17 (53 % zeolita, 17 % isocianato, 30 % PU) curada a 50 °C.

¹⁸ Capa de material colocada debajo de una alfombra para proporcionar amortiguación.

Estas propiedades se mantuvieron estables al sustituir la zeolita por arena silíceas, lo que indica la robustez y versatilidad de la estrategia química aplicada. Uno de los hallazgos más relevantes del estudio fue el impacto del tipo de poliuretano sobre el comportamiento mecánico:

Los poliuretanos reciclados con **mayor valor hidroxilo** (Infigreen-300: 290 mg KOH/g; Infigreen-420A: 385 mg KOH/g) mostraron mejor rendimiento que los poliuretanos vírgenes (PPG: 56 mg KOH/g). Un mayor número de grupos $-OH$ permite una mayor densidad de enlaces uretánicos, reforzando la red híbrida y mejorando su resistencia mecánica y capacidad de absorción de energía. La estructura ramificada de los poliuretanos reciclados, frente a la linealidad del PPG, contribuye a la formación de redes tridimensionales más resistentes y estables. Las observaciones microscópicas de los composites revelaron:

Distribución homogénea de partículas en formulaciones optimizadas (I17), en contraste con agregaciones en formulaciones con bajo contenido en isocianato (I10). Una microestructura continua y densa, lo que explica la resistencia mejorada a la propagación de grietas. Efecto positivo del contenido óptimo de isocianato en evitar defectos de red y mejorar la conexión entre fases.

Si bien el enfoque principal fue evitar el uso de disolventes, se comprobó que la incorporación de pequeñas cantidades de DMF, NMP o acetona podía mejorar la trabajabilidad de mezclas muy cargadas (>60 % de contenido inorgánico), sin perjudicar significativamente las propiedades mecánicas. Esto amplía el rango de formulación adaptable a condiciones de fabricación industrial. Los resultados obtenidos confirman que estos composites híbridos basados en poliuretano reciclado:

Igualan o superan al OPC en propiedades mecánicas clave (flexión, deformabilidad). Reducen significativamente el peso estructural, lo que mejora la eficiencia de transporte e instalación. Presentan un potencial destacado en aplicaciones de aislamiento térmico, absorción de impactos y resistencia a fisuración, siendo especialmente relevantes para soluciones constructivas ligeras, prefabricación y rehabilitación sostenible.

Este estudio constituye una contribución sustancial a la valorización avanzada de residuos de colchones, demostrando que el poliuretano reciclado puede no solo reincorporarse al ciclo productivo, sino convertirse en **componente activo de nuevos materiales estructurales**. La combinación de reciclaje químico, síntesis sin disolventes y diseño de composites híbridos ofrece una vía técnica y ambientalmente sólida para la transición hacia materiales de construcción circulares, de bajo impacto y alto rendimiento.



FIG. 60: MUESTRA DE LA MEZCLA chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://mattressrecyclingcouncil.org/wp-content/uploads/2021/12/UCLA-Final-Report-Zeolite-Composites.pdf

CONCLUSIÓN

Este estudio demuestra el alto potencial del poliuretano reciclado, obtenido por glicólisis, como componente activo en la síntesis de composites híbridos orgánico-inorgánicos para aplicaciones estructurales. A diferencia de enfoques previos que usaban el PU como relleno, aquí se forma una red covalente entre el polioliol reciclado y las micropartículas minerales, generando materiales con resistencia a flexión hasta tres veces superior al cemento Portland, mayor ductilidad y menor peso.

La estrategia libre de disolventes, junto con el uso de polioles de alto valor OH, permitió desarrollar composites con propiedades mecánicas estables, versátiles y adecuados para prefabricación, aislamiento y rehabilitación sostenible. Esta investigación consolida una vía efectiva para valorizar residuos de colchones en soluciones constructivas circulares y de alto rendimiento.

4.2.2. COMPOSITES CON PU RECICLADOS DE COLCHONES

Los materiales compuestos son materiales sintéticos conformados por dos o más componentes (una matriz y un refuerzo) que, combinados, mejoran las propiedades físicas y mecánicas de los materiales base. Esta versatilidad ha permitido su expansión en sectores tan diversos como la automoción, la construcción, el sector aeroespacial o el biomédico. Sin embargo, la mayoría de los composites tradicionales presentan limitaciones en cuanto a su coste de producción, reciclabilidad y sostenibilidad ambiental.

El paradigma actual de economía circular impulsa la búsqueda de soluciones alternativas que incorporen materiales reciclados y de origen renovable, minimizando el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida del producto. En este contexto, los residuos derivados de colchones usados surgen como una materia prima secundaria interesante, especialmente por la diversidad de materiales textiles, espumas y fibras que los componen.

Una de las investigaciones más prometedoras en este ámbito consiste en la integración de textiles no tejidos, procedentes de colchones reciclados, en la matriz de composites de poliuretano (PU). A través de la adición de aditivos como dióxido de titanio (TiO_2) y melamina, se logran materiales con un balance óptimo entre propiedades mecánicas, térmicas y resistencia al fuego.

En los estudios experimentales analizados, se utilizaron residuos de fibra de coco, algodón y textiles de mala calidad, pretratados mediante corte y secado, para su incorporación en matrices de poliuretano bio-basado a partir de aceite de soja. Esta elección responde tanto a razones económicas como ecológicas, dado que el aceite de soja es un recurso renovable y ampliamente disponible.

El refuerzo con textiles reciclados mostró una mejora significativa en la resistencia a la compresión y en la estabilidad térmica, especialmente en formulaciones que incluían hasta un 15-20% de contenido en fibras. Además, se observó una correlación entre la adición de melamina y la mejora en la resistencia al fuego, aunque con una ligera pérdida en la integridad estructural del composite. (Fig. 61)

Resistencia a compresión: Las muestras con fibras de algodón mostraron los valores más altos de resistencia, seguidas por las de fibra de coco. Se identificó una mayor interacción de la matriz con las fibras naturales, especialmente en las muestras con algodón.

Estabilidad térmica: Las muestras resistieron hasta 245 °C antes de iniciar procesos de degradación significativos. Los residuos sólidos tras la pirólisis alcanzaron hasta un 27% del peso inicial, lo que evidencia su idoneidad para entornos térmicamente exigentes.

Propiedades ignífugas: La incorporación de melamina en proporciones moderadas favoreció la formación de capas carbonosas protectoras, que retardan la combustión y reducen la emisión de gases inflamables.

Las propiedades obtenidas hacen que estos nuevos materiales resulten idóneos para aplicaciones en el sector de la construcción (paneles de cerramiento, elementos de aislamiento térmico/acústico, mobiliario técnico) y en automoción (revestimientos interiores, estructuras secundarias).

Además, su carácter reciclado y bajo impacto ambiental refuerza su valor añadido dentro de políticas de compra verde y proyectos sostenibles.

CONCLUSIÓN

La incorporación de textiles reciclados de colchones en matrices de poliuretano bio-basado representa una solución prometedora dentro de la economía circular. Estos composites muestran mejoras notables en resistencia mecánica, estabilidad térmica y comportamiento ignífugo, especialmente con fibras de algodón y aditivos como melamina.

Gracias a su rendimiento técnico y bajo impacto ambiental, estos materiales son idóneos para aplicaciones en construcción y automoción, aportando valor añadido en proyectos sostenibles y de compra verde. Esta línea de investigación confirma el potencial de los residuos de colchones como recursos valiosos para el desarrollo de nuevos materiales funcionales.



FIG. 61: MUESTRA DE COMPOSITE VO.17-INFORME RECILAJE DE TEXTILES.pdf

4.3. REUTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO COMO MATERIAL AISLANTE EN LA CONSTRUCCIÓN.

La reutilización de espuma de poliuretano (PUF) procedente de colchones desechados constituye una estrategia prometedora dentro del ámbito de la sostenibilidad en la construcción, alineada con los principios de la economía circular. Este material, tradicionalmente empleado en la industria del descanso, presenta una estructura celular caracterizada por su baja densidad (30–36 kg/m³) y una composición a base de polioles y diisocianatos, complementada con aditivos diversos como agentes espumantes, estabilizadores UV, retardantes de llama y colorantes. Estas propiedades le confieren, además de un comportamiento mecánico adecuado, un potencial relevante como material aislante térmico y acústico. (Fig. 62)

El presente estudio, publicado en *Construction Materials* (Haigh, 2024), plantea un análisis sistemático de la viabilidad técnica del uso de PUF reciclado como aislante en sistemas constructivos. Para ello, se llevó a cabo un programa experimental basado en la técnica de fuente plana transitoria (Transient Plane Source, TPS), una metodología no destructiva que permite evaluar simultáneamente la conductividad térmica, la difusividad térmica y la capacidad calorífica específica de los materiales evaluados. Las muestras ensayadas, obtenidas de una planta de reciclaje de colchones en Australia, fueron preparadas en tres espesores diferentes (10 mm, 20 mm y 30 mm) para comprobar la evolución del comportamiento térmico con respecto al espesor.

Los resultados obtenidos indican una **conductividad térmica media de 0.053 W/m·K**, valor que, si bien es superior al de materiales aislantes sintéticos de alta eficiencia (como el poliuretano virgen o la lana mineral), se sitúa dentro de un rango operativo aceptable para aplicaciones de aislamiento secundario o en soluciones constructivas multicapa. Además, se verificó que un espesor mínimo de 30 mm es necesario para cumplir con los estándares actuales de resistencia térmica en cerramientos edificatorios. La capacidad calorífica específica registrada para estas muestras fue de 0.0865 MJ/m³·K, y la difusividad térmica promedio se situó en 0.832 mm²/s, valores que reflejan un comportamiento térmico coherente con materiales celulares de baja densidad empleados habitualmente en envolventes térmicas.

Desde una perspectiva comparativa, la espuma PUF reciclada mostró un rendimiento ligeramente inferior al de materiales como la fibra de vidrio (0.031–0.037 W/m·K) o el EPS (0.031–0.038 W/m·K), pero ofrece ventajas sustanciales en términos de **disponibilidad del recurso**, reducción de residuos voluminosos y huella ambiental reducida. No obstante, es importante subrayar ciertas limitaciones técnicas, especialmente relacionadas con su alta inflamabilidad. La combustión del PUF puede liberar compuestos tóxicos como el ácido cianhídrico (HCN) e isocianatos, lo que condiciona su uso sin un tratamiento previo adecuado. La incorporación de aditivos ignífugos ecológicos, como el trihidrato de alúmina o cargas minerales, se postula como solución viable para mejorar su comportamiento frente al fuego sin comprometer significativamente sus propiedades térmicas.

Además, se destaca la escasa **uniformidad de las muestras** debido a las variaciones en composición y envejecimiento de los colchones originales, lo cual representa un reto para la estandarización del material reciclado. Pese a ello, el potencial de integración de este residuo en paneles prefabricados, suelos secos, elementos de aislamiento acústico o capas intermedias en sistemas multicapa es considerable, especialmente en tipologías edificatorias de bajo coste o en contextos donde se prioriza el aprovechamiento de recursos locales.

En conclusión, la espuma de poliuretano procedente de colchones desechados representa una alternativa técnicamente viable y ambientalmente ventajosa para su reutilización como material aislante en la edificación. Aunque existen desafíos normativos y técnicos pendientes de resolver, los resultados obtenidos sugieren que, con el adecuado acondicionamiento y tratamiento, este material podría incorporarse progresivamente en el mercado de productos de aislamiento, contribuyendo de manera significativa a la reducción del impacto ambiental de la construcción.



FIG. 62: CENTRO DE ALMACENAMIENTO DE COLCHONES <https://www.mdpi.com/2673-7108/4/2/22>

CONCLUSIÓN

La espuma de poliuretano (PUF) reciclada de colchones desechados presenta un desempeño térmico aceptable y un notable potencial como aislante secundario en soluciones constructivas. Aunque su conductividad térmica es ligeramente inferior a la de otros aislantes sintéticos, ofrece ventajas ambientales clave: reducción de residuos, reutilización de recursos y menor huella ecológica.

Pese a desafíos como su inflamabilidad y la heterogeneidad del material, con tratamientos adecuados y aditivos ignífugos, el PUF reciclado puede convertirse en una solución viable en sistemas multicapa, prefabricados o aplicaciones de bajo coste, avanzando hacia una edificación más sostenible.

4.4. VALORIZACIÓN DE COLCHONES RECICLADOS PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN, COMO AISLAMIENTO

La valorización de residuos voluminosos como los colchones al final de su vida útil constituye una de las estrategias emergentes dentro del marco de la economía circular aplicada a la edificación. Estos productos, compuestos por múltiples capas de espumas sintéticas (principalmente poliuretano flexible), fibras textiles, adhesivos y resortes metálicos, presentan un desafío logístico y técnico significativo para su reciclaje. Frente a la baja tasa de recuperación de estos materiales y su creciente acumulación en vertederos, se hace necesario el desarrollo de soluciones con bajo nivel de transformación que faciliten su reincorporación como materia prima secundaria en el sector de la construcción.

El estudio desarrollado propone la conversión directa de residuos de colchones triturados en materiales aislantes térmicos mediante su aglomeración con un gel de base celulósica modificado con urea, sin recurrir a procesos térmicos de alta energía ni a reactivos químicos complejos. El **gel aglomerante** se formuló a partir de disoluciones alcalinas de celulosa regenerada, empleando hidróxido de sodio y urea en proporciones optimizadas para inducir la formación de una red tridimensional porosa tras procesos de congelación y liofilización. La proporción óptima entre residuo triturado y gel fue de 9:1 en masa, permitiendo una buena distribución de la matriz aglutinante en el conjunto heterogéneo de partículas plásticas.

Desde el punto de vista microestructural, la caracterización por microscopía electrónica de barrido (SEM) reveló una estructura porosa altamente irregular, con cavidades interconectadas formadas tanto por el espacio intersticial entre partículas como por los poros internos de la red de celulosa liofilizada. Esta morfología confiere al material un elevado grado de porosidad abierta (superior al 80 %), que resulta esencial para la reducción de la conductividad térmica por interrupción de los mecanismos de transferencia convectiva y conductiva.

Las propiedades térmicas del nuevo material fueron evaluadas mediante ensayos directos de conductividad térmica utilizando una placa caliente guardada (guarded hot plate) y complementadas con simulaciones numéricas realizadas en el entorno ANSYS Fluent. Las muestras compuestas a partir de residuos de colchón con doble triturado (etiquetadas como SWC) mostraron los mejores resultados térmicos, con una **conductividad térmica media de 0.049 W/m·K**, un valor comparable al de materiales aislantes convencionales como la lana mineral (0.045 W/m·K) o ciertos polímeros espumados como el poliestireno expandido (EPS). Las muestras con menor grado de trituración mostraron valores algo superiores (0.055–0.060 W/m·K), lo que se atribuye a la menor homogeneidad y mayor tamaño de poro intersticial.

En cuanto al comportamiento térmico global, los análisis de termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostraron que la matriz de celulosa/urea comienza a descomponerse térmicamente a partir de los 150–180 °C, mientras que la espuma de poliuretano mantiene su estabilidad térmica hasta los 250–270 °C. Esta diferencia implica que la matriz aglomerante es el factor limitante en términos de resistencia térmica, aunque la presencia del PUF aporta estabilidad estructural adicional. No obstante, se identificó como limitación importante la ausencia de propiedades ignífugas intrínsecas, sugiriéndose la necesidad de incorporar aditivos retardantes de llama tales como el hidróxido de aluminio o compuestos fosforados para cumplir con normativas de resistencia al fuego exigidas en edificación.

Desde el punto de vista higrotérmico, el material mostró una **absorción de humedad moderada**, relacionada con la naturaleza hidrofílica de la celulosa. Para aplicaciones en envolventes exteriores o zonas con riesgo de condensación, se recomienda la aplicación de barreras de vapor o tratamientos superficiales hidrofóbicos. En cuanto a la masa del material, las muestras de 10 mm de espesor presentaron un peso aproximado de 9 g, lo que lo convierte en un producto extremadamente ligero, apto para aplicaciones en sistemas modulares, cerramientos en seco o soluciones constructivas prefabricadas donde la relación peso-propiedad térmica sea un factor determinante.

En términos funcionales, el material presenta un buen equilibrio entre rendimiento térmico, ligereza y sostenibilidad, siendo especialmente adecuado para usos como paneles intermedios en cerramientos multicapa, aislamiento de cámaras interiores, elementos acústicos no estructurales y componentes modulares con bajo requerimiento mecánico. Aunque su conductividad térmica se encuentra ligeramente por encima del umbral requerido para alcanzar una resistencia térmica R2.0 con espesores inferiores a 90 mm, la cercanía a este valor indica un alto potencial de mejora mediante ajustes en la densificación y formulación del compuesto.



FIG. 63: ALMACÉN DE ESPUMAS DE POLIURETANO PROCEDENTE DE COLCHONES <https://www.retema.es/articulos-reportajes/repso-cierra-el-ciclo-de-la-espuma-de-poliuretano-con-una-planta-pionera-de>

CONCLUSIÓN

La reutilización de residuos de colchones mediante su integración en matrices celulósicas modificadas con urea representa una alternativa innovadora y sostenible dentro del ámbito de la edificación. Este enfoque evita procesos térmicos de alta energía y el uso de reactivos tóxicos, favoreciendo una producción de bajo impacto ambiental alineada con los principios de la economía circular. Los materiales obtenidos destacan por su alta porosidad (superior al 80 %), baja densidad y propiedades térmicas comparables a las de aislantes comerciales, como la lana mineral o el EPS, alcanzando conductividades térmicas de hasta 0.049 W/m·K.

El comportamiento térmico global, validado mediante ensayos experimentales y simulaciones numéricas, demuestra la viabilidad técnica de estos materiales como aislantes ligeros en soluciones constructivas no estructurales. Sin embargo, aún se identifican desafíos, especialmente en relación con su baja resistencia al fuego y sensibilidad a la humedad. Estos aspectos pueden ser abordados mediante tratamientos superficiales, incorporación de aditivos ignífugos y optimización de la formulación.

En conjunto, el sistema desarrollado no solo contribuye a reducir el volumen de residuos voluminosos como los colchones, sino que también ofrece un producto funcionalmente competitivo para su aplicación en sistemas multicapa, paneles interiores, suelos secos o soluciones modulares. Su ligereza, adaptabilidad y origen reciclado lo convierten en un candidato idóneo para proyectos de construcción sostenible, rehabilitación energética y arquitectura de bajo impacto.

4.5. PROYECTO ORACLE

El Proyecto ORACLE (Optimización y Reciclaje de Aislantes de Colchones para una Arquitectura Ligera y Eficiente) es una iniciativa de investigación aplicada desarrollada en la Comunidad Valenciana, España. Su objetivo principal es la valorización de residuos de colchones fuera de uso mediante su transformación en materiales de construcción sostenibles, con especial énfasis en la reutilización de espumas de poliuretano (PU) como núcleos aislantes para sistemas constructivos de alto rendimiento.

La creciente generación de residuos de colchones, que contienen componentes como espumas de PU, representa un desafío ambiental significativo. Estos materiales, debido a su naturaleza termoestable, no pueden ser reprocesados térmicamente, lo que limita sus opciones de reciclaje. El Proyecto ORACLE surge como respuesta a esta problemática, proponiendo una solución basada en la economía circular para reincorporar estos residuos en la cadena de valor de la construcción. Sus objetivos técnicos son los siguientes:

Recuperación de polioles reciclados: Mediante procesos de glicólisis, se despolimerizan las espumas de PU para obtener polioles reciclados con propiedades adecuadas para la síntesis de nuevos materiales. **Desarrollo de núcleos aislantes:** Utilización de los polioles reciclados en la formulación de espumas rígidas que actúan como núcleos aislantes en sistemas constructivos, mejorando el rendimiento térmico y acústico de las edificaciones. **Evaluación de propiedades físico-mecánicas:** Análisis de las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de los nuevos materiales desarrollados para garantizar su idoneidad en aplicaciones constructivas. El proyecto se estructura en varias fases:

Caracterización de residuos: Identificación y análisis de las propiedades de las espumas de PU provenientes de colchones desechados. **Procesamiento químico:** Aplicación de técnicas de glicólisis para la obtención de polioles reciclados, evaluando variables como temperatura, tipo de glicol y catalizadores. **Formulación de nuevas espumas:** Síntesis de espumas rígidas utilizando los polioles reciclados, ajustando parámetros como la relación NCO/OH y la densidad aparente. **Integración en sistemas constructivos:** Incorporación de las espumas desarrolladas en elementos constructivos, como paneles sándwich, evaluando su comportamiento en condiciones reales.

El Proyecto ORACLE cuenta con la colaboración de diversas entidades académicas y empresariales, incluyendo universidades, centros de investigación y empresas del sector de la construcción y reciclaje. La financiación proviene de fondos regionales y nacionales destinados a proyectos de innovación y sostenibilidad en el ámbito de la construcción.

Representa una iniciativa pionera en la valorización de residuos de colchones, ofreciendo una solución técnica y sostenible para su reincorporación en la cadena de valor de la construcción. A través de la recuperación de espumas de PU y su transformación en materiales aislantes de alto rendimiento, se contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental y al fomento de prácticas constructivas más sostenibles.



FIG. 64: PROTOTIPOS DE LOS PANELES AISLANTES RESULTANTES
https://cadenaser.com/emisora/2021/11/10/radio_gandia/1636538005_763068.html

CONCLUSIÓN

El Proyecto ORACLE es una iniciativa de investigación aplicada desarrollada en la Comunidad Valenciana que busca transformar residuos de colchones en materiales de construcción sostenibles. Se centra en la recuperación de espumas de poliuretano (PU), componente predominante en los colchones, mediante procesos de glicólisis para obtener polioles reciclados que puedan emplearse en la formulación de nuevas espumas rígidas de alto rendimiento térmico y acústico.

El proyecto se estructura en fases: caracterización de residuos de PU, despolimerización por glicólisis (ajustando condiciones de temperatura, catalizadores y tipo de glicol), formulación de espumas rígidas con parámetros optimizados (relación NCO/OH y densidad) e integración en sistemas constructivos como paneles sándwich. Los materiales obtenidos se someten a evaluaciones físico-mecánicas y térmicas para validar su idoneidad.

Con apoyo de universidades, centros tecnológicos y empresas del sector, y financiado por programas de innovación sostenible, ORACLE ofrece una solución pionera para la valorización de colchones al final de su vida útil, alineando reciclaje, eficiencia energética y economía circular en el ámbito de la construcción.



Ayuntamiento de Valladolid



5. AVANCE DE ESTRATEGIA DEL PROYECTO

La gestión de residuos de colchones representa uno de los desafíos emergentes más relevantes en el ámbito de la sostenibilidad material y la economía circular aplicada a la construcción. Estos productos, compuestos por una combinación de espumas poliméricas, textiles, muelles metálicos y adhesivos, presentan una elevada dificultad para su reciclaje integral, generando una acumulación creciente en vertederos y un aprovechamiento escaso de sus componentes.

En el marco de esta problemática, el presente proyecto de investigación se plantea como objetivo central la identificación y validación de estrategias de valorización material con bajo grado de transformación. Esta premisa metodológica —minimizar la necesidad de procesamiento químico o energético— responde a la voluntad de garantizar que las soluciones propuestas no solo sean técnicamente viables, sino que posean una clara proyección de entrada real al mercado, tanto por su sencillez operativa como por su rentabilidad económica y compatibilidad con los procesos constructivos existentes. De modo preliminar, se exponen a continuación las siguientes opciones:

5.1. PROTOTIPO DE PRELOSA ALIGERADAS

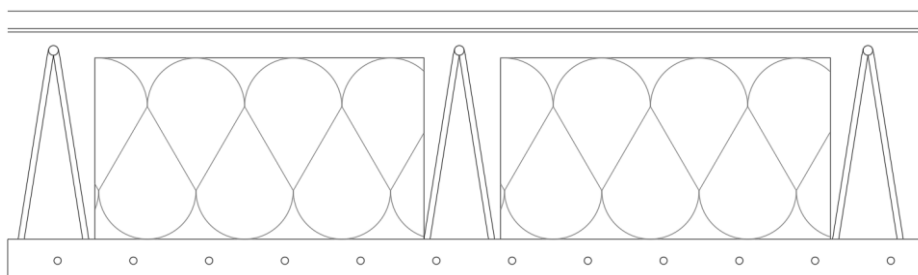


FIG.65: PRELOSA ALIGERADA

La valorización de residuos voluminosos, como los colchones desechados, constituye una estrategia relevante dentro del paradigma de la economía circular aplicada al sector de la construcción. En particular, la recuperación y transformación de espumas de poliuretano procedentes de colchones domésticos ofrece un potencial técnico y ambiental significativo para su empleo en elementos constructivos no estructurales. Entre las posibles aplicaciones, destaca la fabricación de bovedillas aligeradas para sistemas de prelosa, cuya función principal es reducir el peso propio del forjado sin comprometer sus prestaciones mecánicas globales (Fig.65).

El proceso de transformación del residuo en producto útil se articula a través de una secuencia metodológica compuesta por cinco etapas técnicas, desarrolladas con un enfoque orientado a la sostenibilidad, la eficiencia energética y la optimización de recursos.

1º Primera fase de triturado (triturado grueso):

En primer lugar, la espuma de colchón es separada del resto de componentes mediante un proceso de desmontaje manual o semiautomatizado (Fig.66). Esta operación permite recuperar la fracción espumosa sin contaminación significativa por otros materiales (textiles, muelles, adhesivos), facilitando su posterior procesamiento. Una vez aislada, la espuma se somete a un triturado primario mediante dispositivos de cizallamiento o cuchillas rotativas, obteniéndose fragmentos de tamaño medio (entre 20 y 50 mm). Esta operación no solo reduce el volumen del residuo, sino que incrementa su superficie específica, optimizando los procesos posteriores de higienización y aglomeración.



FIG.66: TRITURADO DE LA ESPUMA DE POLIURETANO <https://danluk.es/producto/mte-70-molino-triturador-de-espuma/>

2º Proceso de higienizado:

La siguiente fase es el tratamiento higiénico del material. Debido al origen doméstico del residuo, es esencial garantizar su salubridad antes de su incorporación a sistemas constructivos. Para ello, se aplican técnicas combinadas de limpieza mecánica por cribado y aire comprimido, lavado por inmersión o nebulización con soluciones enzimáticas o compuestos de peróxido, y secado técnico por aire forzado o radiación térmica. Este protocolo asegura la eliminación de patógenos, alérgenos y compuestos volátiles residuales, manteniendo la integridad física de la espuma.

3º Segunda fase de triturado (triturado fino):

Una vez higienizado, el material se somete a una segunda trituración, esta vez fina, con el objetivo de alcanzar una granulometría controlada entre 3 y 10 mm. Esta fracción fina permite una mezcla más homogénea con el aglomerante y mejora la cohesión del producto final. La distribución granulométrica es determinada mediante tamizado normativo y ajustada en función del tipo de aglomerante seleccionado y de las propiedades técnicas deseadas en la bovedilla.

4º Formulación y unión con aglomerantes

El siguiente paso consiste en la formulación de la mezcla, en la que la espuma triturada se combina con un aglomerante adecuado. La elección del aglutinante responde a criterios de sostenibilidad, compatibilidad técnica y facilidad de curado. Entre los aglomerantes hidráulicos se incluyen el cemento Portland (CEM I y CEM II) y, preferentemente, cementos de bajo contenido en clínker (CEM III o cementos LC³), que permiten reducir significativamente la huella de carbono asociada. También se exploran alternativas más innovadoras como geopolímeros basados en metacaolín o cenizas activadas, que no requieren cocción y presentan una baja emisión de CO₂. Por otra parte, se consideran aglomerantes orgánicos como resinas epoxi de origen vegetal, adhesivos de almidón modificados o poliuretanos reciclados, procedentes del mismo flujo de colchones. Las proporciones espuma/aglomerante oscilan entre 60/40 y 80/20 en peso, ajustándose en función de los requerimientos específicos de densidad, resistencia y trabajabilidad.

5º Moldeo y curado de bovedillas

La mezcla resultante se vierte en moldes de geometría estandarizada para bovedillas, fabricados en materiales reutilizables. La forma y dimensiones del molde se adaptan al sistema constructivo de prelosa al que se destina. Posteriormente, las piezas moldeadas son sometidas a un proceso de curado, cuyo régimen depende del tipo de aglomerante utilizado. En el caso de matrices cementicias, se emplea curado húmedo o en cámara climática; para resinas, curado térmico o catalítico; y para geopolímeros, curado a temperatura ambiente con control de humedad. El objetivo es asegurar el endurecimiento homogéneo de la pieza y estabilizar su comportamiento mecánico y dimensional.

Durante la fase de producción se evalúan parámetros críticos como la densidad aparente, la resistencia a compresión simple, la adherencia superficial y la respuesta al fuego y al agua. Estas propiedades son esenciales para validar la idoneidad del material en su uso como elemento de aligeramiento no portante. El resultado final es una bovedilla ligera, térmicamente eficiente y de bajo impacto ambiental, compatible con hormigón estructural y apta para su uso en edificaciones residenciales y terciarias. Durante esta fase, se controla:

Este proceso integral, desarrollado bajo principios de sostenibilidad, representa una vía efectiva para la integración de residuos complejos en el sector de la edificación. Contribuye simultáneamente a la reducción del volumen de residuos en vertedero, al aprovechamiento de materiales con alto valor añadido y a la generación de productos industriales con menor demanda de recursos naturales. Su aplicación dentro de sistemas prefabricados modulares y su potencial escalabilidad lo convierten en una propuesta estratégica para avanzar hacia un modelo constructivo circular y bajo en carbono.



Propiedad	Valores típicos esperables*
Densidad	80–150 kg/m ³
Conductividad térmica	0,035–0,045 W/m-K
Absorción acústica (α_w)	0,65–0,90 (según frecuencia y espesor)
Compresión	30–80 kPa a 10% deformación
Comportamiento al fuego	Mejorable con aditivos ignífugos
Higroscopicidad	Baja, buena estabilidad dimensional

CONCLUSIÓN

El desarrollo de bovedillas aligeradas mediante la valorización directa de espumas de poliuretano procedentes de colchones fuera de uso constituye una solución tangible y eficiente frente al reto ambiental que suponen estos residuos voluminosos. A través de un proceso técnico de bajo impacto, que incluye etapas de separación, higienización, doble triturado, formulación con aglomerantes sostenibles y moldeo estandarizado, se ha demostrado la viabilidad de transformar un residuo complejo en un producto constructivo funcional.

Este enfoque metodológico, centrado en la mínima transformación y la máxima eficiencia de recursos, permite obtener elementos ligeros, térmicamente eficientes y compatibles con sistemas prefabricados de prelosa, sin comprometer los estándares de calidad y seguridad requeridos en edificación. El uso de aglomerantes de bajo contenido en clínker, geopolímeros o resinas recicladas refuerza además el carácter ambientalmente responsable de la propuesta, alineándola con los objetivos de descarbonización del sector de la construcción.

Asimismo, el prototipo desarrollado destaca por su replicabilidad, escalabilidad y adaptabilidad a distintos entornos productivos, lo que favorece su potencial implantación industrial. Su implementación contribuiría de manera directa a reducir la carga de residuos en vertedero, disminuir la extracción de materias primas vírgenes y promover una economía circular real, basada en la integración inteligente de residuos en ciclos constructivos sostenibles. En suma, se trata de una iniciativa con sólida base técnica, alto valor ambiental y notable proyección de impacto en el tejido industrial y urbano.

5.2. PROTOTIPO DE PANEL ARQUITECTÓNICO ALIGERADO DE HORMIGÓN CON AISLAMIENTO

En el marco de las estrategias europeas de economía circular y dentro del proyecto *Circular Ecosystems*, se plantea la valorización de residuos domésticos voluminosos como una oportunidad para desarrollar nuevos productos constructivos sostenibles. En particular, el presente prototipo se centra en el reaprovechamiento de espuma de poliuretano (PU) procedente de colchones en desuso, un residuo de gran volumen y difícil gestión, cuyo reciclaje se enfrenta a barreras técnicas y económicas.

El objetivo de este prototipo es investigar la viabilidad de integrar esta espuma, en su estado original y sin procesos de trituración, como material aislante dentro de muros prefabricados tipo sándwich de hormigón armado (Fig.67), combinando eficiencia energética, bajo impacto ambiental, economía de medios y cumplimiento de las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE).

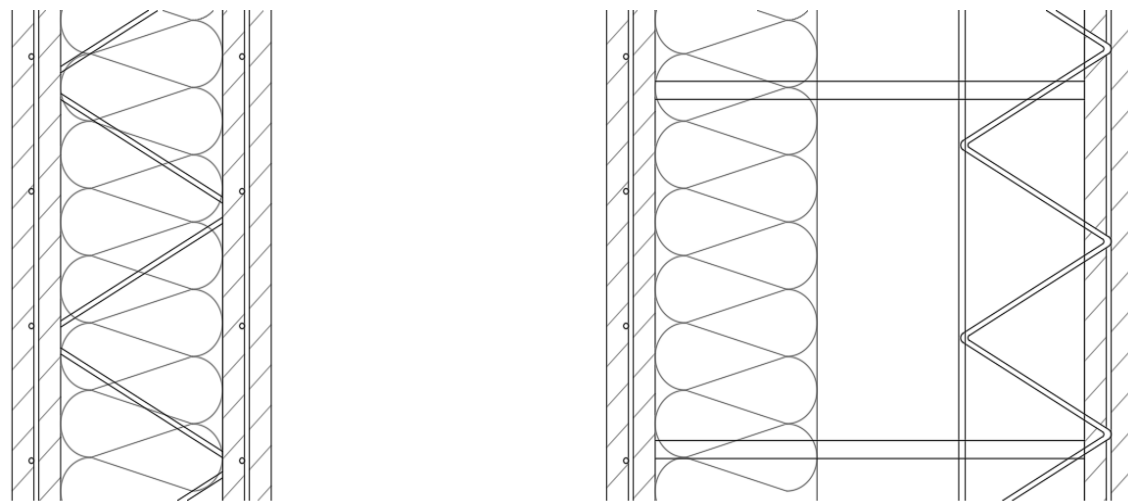


FIG.67: PROTOTIPO MURO PREFABRICADO TIPO SANDWICH

2º FUNDAMENTOS DE LA PROPUESTA

El residuo de colchón, y en particular su espuma interna, presenta unas características técnicas y físico-químicas que la hacen potencialmente reutilizable en la construcción. No obstante, el proceso habitual de valorización suele implicar la trituración de la espuma, con el consiguiente consumo energético y generación de subproductos. Frente a ello, se propone una estrategia de reutilización directa, que conserve la forma original de la espuma, reduciendo significativamente los costes de procesamiento y mejorando la eficiencia del ciclo de vida del producto (Fig.68). Esta decisión se fundamenta en cuatro criterios clave:

Evitar la trituración y reprocesado mecánico o térmico, lo que implica una menor inversión en maquinaria y energía. Preservar las propiedades mecánicas y térmicas de la espuma, que pueden verse alteradas por procesos industriales agresivos. Reducir el coste económico del sistema, favoreciendo su implantación en contextos industriales o sociales con recursos limitados. Fomentar una lógica circular de bajo impacto, coherente con los principios de la reutilización directa, el diseño para el desmontaje y la reducción de residuos.



FIG.68: COLCHÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO <https://www.residuosprofesional.com/colchones-reciclados-un-ano-planta-urbaser-elche/>

3ºDESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

El sistema planteado se basa en la tecnología de muros prefabricados doble hoja o tipo sándwich, ampliamente utilizada en edificación modular, industrializada y de consumo energético reducido. El muro está compuesto por:

Dos capas exteriores de hormigón armado. Un núcleo central aislante, en este caso formado por espuma de poliuretano reutilizada sin triturar, dispuesta como bloque único o en capas superpuestas. Conectores metálicos o de material compuesto, que garantizan la adherencia estructural entre ambas hojas. La espuma se coloca manualmente en el molde durante el proceso de prefabricación, adaptando su tamaño mediante recortes mínimos, y se sujeta mediante anclajes, guías internas o encapsulado previo (si es necesario). La disposición en capas permite también adaptar el espesor del núcleo a las exigencias térmicas del proyecto.

4ºHIGIENIZACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Dado que la espuma procede de colchones domésticos, su reutilización directa exige un proceso previo de higienización y adecuación sanitaria, que garantice su inocuidad durante su manipulación e instalación. Este proceso puede incluir:

Desmontaje y separación de elementos no aprovechables (muelles, textiles, espumas contaminadas). Aspirado, secado y desinfección mediante métodos mecánicos y productos de baja toxicidad. Almacenaje controlado y clasificación por densidad, tipo de espuma y estabilidad dimensional.

Este procedimiento no solo asegura las condiciones de salud y seguridad para los operarios y usuarios, sino que también permite establecer criterios de calidad y trazabilidad del material reutilizado, de cara a su futura certificación.

5ºENCAPSULADO COMO ESTRATEGIA DE PROTECCIÓN

Aunque se busca reducir al mínimo los procesos añadidos, la naturaleza porosa de la espuma de PU y su potencial incompatibilidad con el hormigón fresco puede requerir, en ciertos casos, su encapsulado parcial o total. Esta medida tiene como objetivo:

Evitar la absorción de agua del hormigón durante el vertido, que podría comprometer su dosificación y resistencia final. Asegurar la estabilidad dimensional de la espuma, evitando deformaciones por presión hidráulica. Mejorar su comportamiento frente al fuego y la humedad, cuando se requiera una mayor clasificación en reacción al fuego.

El encapsulado puede realizarse mediante geotextiles transpirables, láminas de polietileno reciclado, mallas textiles técnicas o incluso bandejas termoformadas recicladas, según las condiciones del proyecto y la disponibilidad local.

6ºPROCESO DE FABRICACIÓN EN ENTORNO PREFABRICADO

El prototipo ha sido diseñado para integrarse con facilidad en líneas de producción de prefabricados ya existentes. El proceso comprende:

Colocación del armado y conectores en el molde, vertido de una de las hojas, inserción del núcleo aislante, ya preparado y, en su caso, encapsulado, vertido de la otra hoja de hormigón armado, curado, desmoldeo y control de calidad del elemento final.

Este procedimiento permite mantener los tiempos y costes estándar del proceso industrial, sin requerir maquinaria adicional, lo que lo convierte en una solución viable para su replicabilidad en otros entornos industriales.

CONCLUSIÓN

El prototipo desarrollado representa una solución constructiva de alto valor añadido, que combina:

La valorización directa de un residuo complejo (espuma de colchones). Un enfoque de mínimo procesamiento y máxima eficiencia energética. La integración en sistemas de construcción industrial sin alterar procesos existentes. El cumplimiento de las principales exigencias normativas para cerramientos en edificación residencial.

Este sistema ofrece una alternativa viable para impulsar la economía circular en el sector de la construcción, con un claro potencial de replicabilidad y escalado a otros territorios y tipologías edificatorias.

5.3. ESTUDIO DEL COLCHÓN COMO POSIBLE COMBUSTIBLE DERIVADO DE RESIDUOS

INTRODUCCIÓN

Los Combustibles Derivados de Residuos (CDR) constituyen una solución avanzada dentro de las estrategias de valorización energética aplicadas a la gestión de residuos sólidos. Estos combustibles alternativos se obtienen a partir de fracciones de residuos (Fig. 69) que, por su naturaleza o grado de contaminación, no pueden ser reutilizadas ni recicladas, pero que poseen un elevado contenido energético aprovechable. Su utilización permite reemplazar parcial o totalmente combustibles fósiles en procesos industriales de alta exigencia térmica —como la producción de cemento, acero o electricidad—, promoviendo así un modelo de economía circular y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta forma de recuperación energética no solo da respuesta al problema del exceso de residuos, sino que también aporta una vía eficiente y sostenible para diversificar el mix energético en sectores estratégicos.



FIG. 69: PROCESO DE TRITURADO DE LOS RESIDUOS <https://www.grupo-spr.com/procesos/combustibles-alternos-cdr/>

DEFINICIÓN TÉCNICA Y CARACTERÍSTICA

El **Combustible Derivado de Residuos (CDR)** es un producto energético obtenido a través de tratamientos físicos, mecánicos o biológicos aplicados a residuos, principalmente no peligrosos, aunque en algunos casos también pueden utilizarse fracciones controladas de residuos peligrosos o inertes (Fig.70). Estos procesos tienen como finalidad optimizar el contenido energético del residuo, reducir su heterogeneidad y asegurar su compatibilidad ambiental con las instalaciones de combustión. El resultado es un combustible preparado que puede presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa, siendo más común el CDR sólido, en formatos como pellets, briquetas o fracción triturada (“fluff”) (García & López, 2017).

Desde el punto de vista técnico, el CDR debe cumplir una serie de parámetros que determinan su idoneidad para el uso industrial. Uno de los más relevantes es el **Poder Calorífico Inferior¹⁹ (PCI)**, que indica la energía útil disponible por unidad de masa. Para garantizar un rendimiento eficiente, se recomienda un PCI mínimo de 15 MJ/kg, aunque este valor puede ajustarse según el tipo de instalación receptora (UNE-EN 15359:2012). El **contenido de cloro**, originado en buena parte por la presencia de plásticos clorados como el PVC, es otro parámetro crítico, ya que está vinculado a la formación de compuestos altamente tóxicos como las dioxinas y los furanos, además de provocar corrosión en los sistemas térmicos. Asimismo, el CDR debe presentar niveles controlados de **metales pesados**, tales como mercurio, plomo o cadmio, los cuales pueden liberar emisiones peligrosas o dañar los filtros de depuración (European Commission, 2006).

El **contenido de cenizas y humedad** influye negativamente en el rendimiento térmico, ya que reduce el poder calorífico útil y puede generar residuos adicionales que deben ser tratados tras la combustión. Por último, la **proporción de biomasa** incluida en la composición del CDR cobra especial importancia en términos de sostenibilidad climática, dado que la fracción biodegradable puede considerarse como carbono neutro en el marco del sistema europeo de comercio de emisiones (IPCC, 2006).

Estas características deben ser evaluadas mediante ensayos normalizados y certificados, que aseguren la homogeneidad, seguridad y trazabilidad del CDR en toda la cadena de valorización energética (UNE-EN 15442:2012).



FIG. 70: COMBUSTIBLE A PARTIR DE RESIDUOS PARA PRODUCIR CEMENTO <https://economistacolombia.com/actualidad/combustible-a-partir-de-residuos-para-producir-cemento/>

¹⁹ Cantidad de energía útil liberada por la combustión completa de un combustible, sin aprovechar el calor de condensación del vapor de agua

PROCESO INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN

El proceso industrial de producción de Combustible Derivado de Residuos (CDR) puede variar en función del tipo y origen de los residuos empleados, pero responde en líneas generales a una secuencia de operaciones diseñadas para garantizar un producto final homogéneo, energético y ambientalmente seguro. En primer lugar, los residuos son **recepcionados y clasificados**, separando aquellos materiales que pueden ser reciclados —como metales, vidrio o papel limpio— de las fracciones no reciclables pero valorizables energéticamente (Fig.71). Esta clasificación permite también la eliminación de materiales inertes y contaminantes que podrían interferir en las etapas posteriores (Agència de Residus de Catalunya, 2018).

Una vez seleccionados los residuos apropiados, se lleva a cabo un **pretratamiento mecánico**, que consiste principalmente en la **tritución y homogeneización** de los materiales. Esta fase reduce el tamaño de partícula y facilita su manipulación y posterior procesado (Kalina, 2015). A continuación, se procede a la **separación de impropios**, utilizando tecnologías como **separadores magnéticos** (para metales ferrosos), **corrientes de Foucault** (para metales no férricos) y **separadores ópticos o neumáticos**, que eliminan componentes plásticos no deseados, textiles no combustibles o elementos con cloro y azufre elevados (Magrinho, Didelet & Semiao, 2006).

En función de la humedad inicial del residuo y del uso final previsto, puede incorporarse una fase de **secado**, ya sea térmico o por biosecado, con el fin de reducir la humedad relativa del combustible y mejorar así su poder calorífico. Finalmente, se realiza la **formulación del CDR**, una etapa crítica en la que se mezclan diferentes fracciones para obtener una composición energética y físico-química constante. En esta fase, el material puede también **densificarse** en forma de pellets o briquetas, o prepararse como fracción “fluff” si así lo requiere la tecnología de combustión donde será utilizado (Cossu & Raga, 2008).

Este flujo de producción puede adaptarse a distintos esquemas tecnológicos, como el **tratamiento mecánico-biológico (TMB)**, líneas de **biosecado**, o instalaciones específicas de **tritución, separación y formulación energética**, en función del tipo de residuo tratado y de las características técnicas del consumidor final del CDR.



FIG.71: PROCESO DE RECEPCIONADO Y CLASIFICADO <https://www.sutco.com/es/productos/maquinaria-para-residuos-secos/combustibles-derivados-de-residuos-cdr>

APLICACIONES INDUSTRIALES

El uso de los Combustibles Derivados de Residuos (CDR) ha encontrado su principal aplicación en la **industria cementera**, tanto en España como en otros países europeos. Esta preferencia se debe a que el horno de Clinker, núcleo del proceso de fabricación del cemento, presenta una **alta demanda energética** y condiciones operativas especialmente adecuadas para el coprocesamiento de residuos (Fig.72). Las temperaturas elevadas —que superan los **1.400 °C**— garantizan la **destrucción completa de compuestos orgánicos peligrosos**, mientras que la naturaleza alcalina del proceso permite neutralizar sustancias ácidas e **incorporar la fracción mineral del residuo en el propio Clinker**, sin generación de cenizas residuales ni nuevos flujos de residuos (CEMBUREAU, 2021; EURELCO, 2016).

Más allá del sector cementero, el CDR también se utiliza en otras **industrias de alta temperatura**, como la **siderurgia** y las **plantas de producción de cal**, así como en **centrales térmicas multicomcombustible**, que valoran su capacidad de sustitución parcial de combustibles fósiles convencionales (European Commission, 2006). Asimismo, tiene presencia en **sistemas de cogeneración industrial**, donde el calor y la electricidad generados con CDR permiten mejorar la eficiencia energética global de procesos fabriles (IEA Bioenergy, 2018). Otras aplicaciones destacadas incluyen el **secado térmico de lodos de depuradora** y el aprovechamiento térmico en instalaciones **agroindustriales**, especialmente aquellas con requerimientos energéticos térmicos elevados.

En el caso específico de España, el consumo de CDR por parte del sector cementero ha superado el **millón de toneladas anuales**, representando en la actualidad **más del 37 % del mix energético** del sector. Este dato refleja una tendencia ascendente hacia la sustitución progresiva de combustibles fósiles por alternativas más sostenibles, impulsada tanto por la presión normativa como por la necesidad de reducción de costes y emisiones (Oficemen, 2023).



FIG.72: HORNO DE CLINKER <http://heavy-plants.com/1-7-rotary-kiln.html>

ANÁLISIS AMBIENTAL COMPARADO

Desde el punto de vista ambiental, la utilización de **Combustibles Derivados de Residuos (CDR)** ofrece ventajas significativas en comparación con los combustibles fósiles tradicionales, tanto en términos de reducción de impactos como de optimización del uso de recursos. En primer lugar, el CDR permite una **disminución directa en el consumo de recursos no renovables**, como el carbón, el petróleo o el gas natural, sustituyéndolos por materiales que de otro modo acabarían en vertedero sin aprovechamiento alguno (CEMBUREAU, 2021).

Una de las contribuciones más relevantes del CDR es la **reducción de las emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂)** (Fig.73), especialmente cuando el combustible incorpora una fracción significativa de **biomasa biodegradable**, que puede considerarse neutra en carbono bajo las directrices del sistema europeo de comercio de emisiones (ETS). Este efecto se ve amplificado por la capacidad del CDR de evitar la **acumulación de residuos sólidos en vertederos**, reduciendo de forma paralela la generación de lixiviados y las emisiones de metano (CH₄), un gas con un potencial de calentamiento global mucho mayor que el CO₂ (IPCC, 2006).

Además, el uso de CDR contribuye a una **mejor eficiencia de infraestructuras existentes**, al integrarse en instalaciones industriales como hornos cementeros, calderas o plantas de cogeneración sin requerir grandes inversiones adicionales. Esto implica un **menor impacto ambiental asociado a nuevas construcciones** y un aprovechamiento más racional del capital industrial disponible.

No obstante, para que estos beneficios ambientales se materialicen plenamente, es imprescindible garantizar una **composición estable y controlada del combustible**, evitando variaciones que puedan alterar la calidad de la combustión o incrementar las emisiones contaminantes (Cossu & Raga, 2008). También resulta esencial establecer sistemas eficaces de **control de emisiones atmosféricas**, especialmente en relación con compuestos críticos como **dioxinas, furanos y metales pesados**, cuya liberación está estrechamente vinculada a la calidad del residuo y a las condiciones térmicas del proceso. Por último, es necesario prever la **gestión adecuada de cenizas o residuos secundarios** generados durante la combustión, particularmente en aquellas instalaciones donde no puedan integrarse como materias primas, como sucede favorablemente en el sector cementero.

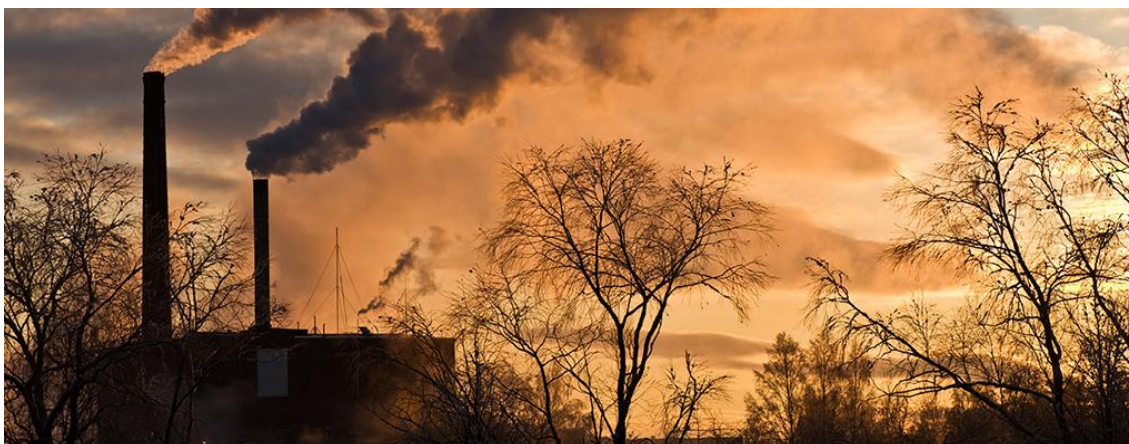


FIG. 73: EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO https://www.naturgy.es/hogar/blog/efecto_invernadero_soluciones

POSIBLE APLICACIÓN EN EL CASO DE COLCHONES

Los **colchones fuera de uso** representan un flujo de residuos voluminoso y complejo que plantea importantes desafíos en términos de reciclaje y gestión final. Sin embargo, más allá de su recuperación material parcial, existe una oportunidad técnica y ambientalmente viable de valorizarlos energéticamente mediante su transformación en **Combustible Derivado de Residuos** (CDR), contribuyendo a cerrar el ciclo de vida de estos productos y a reducir su impacto ambiental (Raga et al., 2018).

La estructura de un colchón está compuesta principalmente por espumas de poliuretano (PU), fibras textiles (naturales o sintéticas), adhesivos y elementos metálicos como los muelles. Entre estos componentes, las espumas y los textiles son altamente combustibles y presentan valores de **poder calorífico inferior** (PCI) que oscilan entre 25 y 35 MJ/kg, superando con creces el umbral mínimo de 15 MJ/kg exigido para su consideración como CDR (Kalina, 2015; CEN, 2011). Estos valores colocan a las fracciones combustibles del colchón por encima de muchos residuos industriales comúnmente utilizados como combustible alternativo en hornos cementeros y otras instalaciones térmicas.

Componente del colchón	Tipo de material	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	Comparación con el mínimo requerido	Observaciones
Espuma de poliuretano (PU)	Plástico expandido	30 – 35	✓ Muy superior	Excelente fuente energética
Fibras de poliéster	Textil sintético	25 – 30	✓ Superior	Alta eficiencia térmica
Fibras de algodón	Textil natural	15 – 17	✓ Cumple el mínimo	Menor rendimiento que sintéticos
Látex (natural o sintético)	Goma/elastómero	20 – 28	✓ Superior	Depende del tipo y pureza
Adhesivos y lonas	Mezclas diversas	10 – 20 (variable)	⚠ Variable	Depende del tipo y proporción
Madera (estructural)	Lignocelulósico	16 – 18	✓ Cumple	Poco frecuente en colchones modernos
Muelles metálicos	Acero (no combustible)	0	✗ Inviabile	Deben ser retirados en pretratamiento

El proceso de conversión de colchones en CDR implicaría una serie de etapas técnicas: **pretratamiento mecánico** para la separación de metales (muelles) (Fig.74), **trititación y homogeneización** de las fracciones combustibles, y opcionalmente **secado térmico o biosecado** para reducir la humedad y estabilizar el producto final. A partir de estas operaciones se podría obtener un combustible sólido en forma de fracción triturada o densificada (pellets o briquetas), con un PCI estable, bajo contenido de cloro y metales, y con una importante proporción de biomasa si se incluyen textiles naturales, lo que contribuye a la reducción de emisiones netas de CO₂ (IPCC, 2006; European Commission, 2015).

El uso de esta fracción de CFU como CDR encaja especialmente bien en **instalaciones de coprocesamiento** como los hornos de clinker en la industria cementera, donde las altas temperaturas y las características del proceso permiten la total destrucción de compuestos orgánicos peligrosos y la incorporación de la fracción mineral del residuo sin generar cenizas residuales. También podría evaluarse su uso en **plantas de cogeneración, calderas industriales o procesos de secado térmico de lodos**, dependiendo de las características finales del combustible preparado (IEA Bioenergy, 2018).

En definitiva, la aplicación de colchones como fuente para la producción de CDR representa una **alternativa complementaria al reciclaje material**, que permite valorizar las fracciones no reciclables y reducir el vertido, al tiempo que se contribuye a la descarbonización del sector industrial mediante la sustitución de combustibles fósiles. Para ello, es necesario implementar protocolos de clasificación, separación y caracterización que garanticen la **calidad y seguridad del combustible**, así como evaluar su comportamiento en combustión mediante ensayos específicos en colaboración con potenciales usuarios industriales (Kalina, 2015; CEN, 2011).

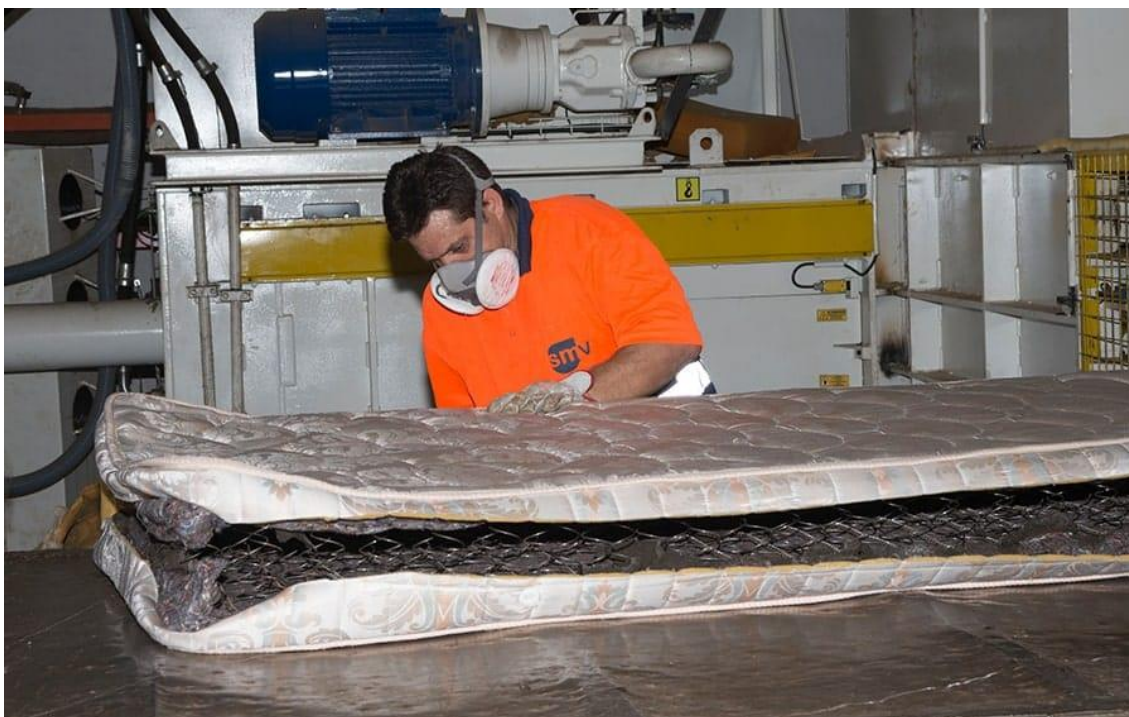


FIG.74: PRETRATAMIENTO MECÁNICO, SEPARACIÓN DE MUELLES <https://www.smv.es/reciclaje-colchones/>

CONCLUSIÓN

La valorización energética de residuos mediante la producción de Combustibles Derivados de Residuos (CDR) se consolida como una herramienta estratégica en la transición hacia modelos de gestión más sostenibles, donde la economía circular y la descarbonización de los procesos industriales adquieren un papel central. El análisis técnico y ambiental desarrollado en este documento pone de manifiesto que los colchones fuera de uso (CFU), tradicionalmente considerados un residuo difícil de gestionar por su volumen y heterogeneidad material, poseen un **potencial energético elevado**, especialmente en sus fracciones de espuma de poliuretano y fibras sintéticas.

El **poder calorífico** de estos materiales supera ampliamente los requisitos normativos mínimos para su uso como CDR, lo que abre la puerta a su integración en cadenas de coprocesamiento industrial, como las de la industria cementera, térmica o agroindustrial. Además, al aprovechar las fracciones no reciclables de los colchones, se reduce significativamente su envío a vertedero y se evita la emisión de metano y otros contaminantes derivados de su degradación anaerobia.

No obstante, para garantizar una aplicación eficaz, segura y ambientalmente viable de los colchones como CDR, será imprescindible establecer **protocolos de separación, control de calidad y caracterización energética**, así como realizar pruebas piloto en instalaciones industriales reales. La colaboración entre administraciones, centros de investigación, gestores de residuos y sectores industriales consumidores será clave para avanzar en esta línea.

En definitiva, la transformación de los colchones fuera de uso en CDR no solo representa una **solución innovadora a un problema persistente de gestión de residuos voluminosos**, sino también una oportunidad concreta de avanzar hacia una economía baja en carbono, más eficiente y comprometida con el aprovechamiento integral de los recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEME (Agence de la Transition Écologique). (2022). *Panorama du recyclage des matelas en France*.
- Agència de Residus de Catalunya. (2018). Guía técnica para la producción y utilización de CDR. Generalitat de Catalunya.
- ASEFAPI. (2023). *Informe anual sobre la industria española del descanso*.
- ASTM D3574. *Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials – Urethane Foams*.
- Ayuntamiento de Alcorcón. (2024). *Convenio de cesión de suelo para usos industriales sostenibles – Polígono Ventorro del Cano*.
- Ayuntamiento de Valladolid. (2023). *Memoria anual del Servicio de Limpieza y Gestión de Residuos*.
- BASF SE. (2022). *Closing the Loop for Mattresses: ChemCycling™ in Polyurethane Foam Applications*.
<https://www.basf.com>
- BOE. (2002). *Orden MAM/304/2002, por la que se publican las instrucciones para la elaboración de planes de residuos*. Boletín Oficial del Estado, nº 43, 19 de febrero de 2002.
- BOE. (2011). *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*. Boletín Oficial del Estado, nº 181, 29 de julio de 2011.
- CalRecycle – California Department of Resources Recycling and Recovery. (2022). *Mattress Recycling Overview and Legislation*.
- CE Delft. (2022). *Environmental Benefits of Mattress Recycling – Life Cycle Analysis for RetourMatras*.
- CEMBUREAU. (2021). *Alternative Fuels in Cement Manufacturing*. The European Cement Association.
- CEN. (2011). *CEN/TS 15359: Solid recovered fuels — Specification and classes*. European Committee for Standardization.
- Comsermancha. (2024). *Memoria de gestión de residuos urbanos y fracciones selectivas*.
- Cossu, R., & Raga, R. (2008). *RDF production and utilisation in Italy: An overview*. Waste Management, 28(7), 1348–1354.
- DR3 Recycling. (2022). *Impact Report: Mattress Recycling and Social Employment Outcomes*.
<https://www.dr3recycling.org>
- Dubois, D., Stokke, J. A., & Karwowski, W. (2003). *Viscoelastic foams and human comfort: Modeling and performance assessment*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 13(4), 347–361.
- EBIA. (2017). *Technical Guidelines for Bedding Components*. European Bedding Industries' Association.
- EBIA. (2021). *Trends in Bedding Technologies and Consumer Preferences*. European Bedding Industries' Association.
- EBIA – European Bedding Industries' Association. (2021). *Recycling of Mattresses in Europe: Current State and Challenges*.
- Ecoembes. (2022). *Informe sobre residuos voluminosos en entornos urbanos*.

- Ecomove. (2022). *Mattress Waste Streams and Recovery Strategies in the EU*.
- Ecomueble. (2022). *Informe sectorial de reciclaje de colchones y mobiliario en España*.
- Eliav, Y. (2018). *Sleeping in ancient societies: Beds, rest, and culture*. Routledge.
- EMTRE – Entidad Metropolitana para el Tratamiento de Residuos. (2023). *Memoria de Actividad y Gestión de Voluminosos*.
- EURELCO. (2016). *End-of-waste criteria for RDF and SRF*. European Enhanced Landfill Mining Consortium.
- European Commission. (2020). *A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe*.
- European Commission. (2006). *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*.
- Eurostat. (2020). *Waste statistics - treatment of waste*.
- Evergreen Recycling. (2020). *Report of Analysis: Mattress Fluff. Informe técnico nº 39607, Seattle, WA*.
- Fundación ECOLUM. (2021). *Diagnóstico del reciclaje de colchones y residuos voluminosos en España*.
- Fundación ECOLUM. (2021). *Estudio de rutas de reciclaje para colchones y elementos de descanso en España*.
- García, A., & López, J. (2017). *Tecnologías de valorización energética de residuos*. Madrid: Fundación para la Investigación y Desarrollo Ambiental.
- Gross, R. A., Morris, E., Williams, J., & Edson, C. (2023). *Recycling Mattress Shoddy by Enzymatic Depolymerization of PET and Cotton to Monomers for Value-Added Applications: Final Report*. Rensselaer Polytechnic Institute.
- Gupta, B., & Kumar, P. (2010). *Manufacturing of Natural Rubber Latex Foam for Mattress Applications*. Journal of Materials Science.
- Gupta, R. (2023). *Application of Recycled Mattresses for Composite Industries*. Pittsburg State University.
- Hansen, K., LeBouf, R., & Schmidt, E. (2001). *Thermal comfort and air circulation in mattress design*. Journal of Sleep Research, 10(3), 225–231.
- Harwood, J. (2002). *Technology and Industrial Development: The Rise of the Chemical Industry*. Routledge.
- Hepburn, C. (1992). *Polyurethane Elastomers*. Elsevier Applied Science.
- Hilyard, N. C., & Cunningham, A. (1994). *Low Density Cellular Plastics: Physical Basis of Behaviour*. Springer.
- ICEX España Exportación e Inversiones. (2022). *Tendencias de internacionalización en el sector del mueble y descanso*.
- International Sleep Products Association (ISPA). (2022). *Policy Framework for Mattress Recycling in the U.S.*
- IEA Bioenergy. (2018). *Energy from Waste – Summary and Conclusions*. International Energy Agency Bioenergy Task 36.
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO 23769:2021. *Furniture — Beds — Test methods for the determination of functional characteristics and mechanical properties*.

- ISO 2439:2008. *Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (indentation technique)*.
- ISO 3385:2014. *Flexible cellular materials – Determination of fatigue by dynamic loading*.
- ISO 845:2006. *Cellular plastics — Determination of apparent density*.
- Ikram, S. (1997). *Death and Burial in Ancient Egypt*. Longman.
- Iyer, D., & Srivastava, S. (2020). *Upcycled Polyurethane Products Based Waterborne Polyurethane Dispersions*. UCLA.
- Iyer, D., & Srivastava, S. (s.f.). *Upcycled Polyurethane Products Based Strong and Robust Inorganic/Organic Composites*. UCLA.
- JBS – Jayplas Bedding Solutions. (2023). *Corporate Profile and Environmental Metrics*. <https://jayplas.com>
- Kalina, M. (2015). *Mechanical and biological treatment of municipal solid waste as a pre-treatment before landfilling*. *Waste Management*, 36, 67–73.
- Kantar Insights. (2023). *Estudio sobre notoriedad y percepción de marca en el sector descanso*.
- Karimi Nikoo, K., Pascoe, C., & Long, T. E. (2023). *Surface Functionalization of Polyurethane Foams for Enhanced Oil Absorption: Executive Summary*. Arizona State University.
- Knoble, J. (2020). *Mattress Pocketed Coil Component: Separation and Recycling – Executive Summary of Final Report*. Mattress Recycling Council.
- Magrinho, A., Didelet, F., & Semiao, V. (2006). *Municipal solid waste disposal in Portugal*. *Waste Management*, 26(12), 1477–1489.
- Kovacs, F. M., Abreira, V., & Zamora, J. (2004). *Effect of Mattress Types on Chronic Low Back Pain: A Randomized Clinical Trial*. *The Lancet*, 363(9416), 1589–1594.
- Marshall, J. W. (1900). *Patent No. 790,812. Improvement in Spring Mattresses*. United States Patent and Trademark Office.
- Mattress Recycling Council (MRC). (2020). *Use of Shoddy in Stormwater and Soil Erosion Applications*.
- Mattress Recycling Council (MRC). (2023). *Bye Bye Mattress Program Annual Report*. <https://mattressrecyclingcouncil.org>
- Mehta, S. (2023). *Upcycling Mattress Textile Waste into Biodegradable 3D-Printed Consumer Products to Replace Single-Use Plastics: Final Report*. West Virginia University.
- Mendelson, C. (1997). *Home Comforts: The Art and Science of Keeping House*. Scribner.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). (2022). *Informe sobre generación y gestión de residuos en municipios españoles*.
- MITERD – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Diagnóstico sobre residuos domésticos de gran volumen*.
- Morcillo-Bolaños, Y. D., Malule-Herrera, W. J., Ortiz-Arango, J. C., & Villa-Holguín, A. L. (2018). *Reciclado de espuma flexible de poliuretano mediante glicólisis usando hidrotalcitas Zn/Sn/Al como catalizador heterogéneo*. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, (87), 77–85.
- Nevett, L. (1999). *House and Society in the Ancient Greek World*. Cambridge University Press.
- Oficemen. (2023). *Informe Anual 2023: El sector cementero español*. Agrupación de fabricantes de cemento de España.
- Okamoto-Mizuno, K., & Mizuno, K. (2012). *Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm*. *Journal of Physiological Anthropology*.

- Parlamento Europeo & Consejo. (2008). *Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 312, 22/11/2008.
- PU Europe. (2022). *Chemical Recycling of Flexible Polyurethane Foams: Pilot and Industrial Scale Implementation*.
- Rada, E.C., Ragazzi, M., Fedrizzi, P., & Panaitescu, V.N. (2011). *Municipal solid waste bio-drying: Influence of air-flow rate on biogas and heat generation*. Waste Management, 31(5), 1090–1095.
- Radwan, A., Fess, P., James, D., et al. (2015). *Effect of different mattress designs on promoting sleep quality, pain reduction, and spinal alignment*. Journal of Chiropractic Medicine.
- Raga, R., Cossu, R., & Bisi, L. (2018). Thermal valorization of post-consumer polyurethane foam from mattresses. *Journal of Cleaner Production*, 196, 273–283.
- Randall, D., & Lee, S. (2002). *The Polyurethanes Book*. Wiley-VCH.
- Recicolchón. (2023). *Memoria de actividad y servicios de reciclaje de colchones*. <https://recicolchon.com>
- Renewi plc. (2023). *Annual Sustainability Report – Mattress Recycling Division*.
- Rethink PU. (2023). *Recyc'PU: Closing the Loop for Mattress Foam in France*.
- RetourMatras. (2023). *Company Report: Circular Performance and Impact Data*. <https://retourmatras.nl>
- RME (Recycling Management Europe). (2023). *Company Profile and Recycling Performance Report*. <https://rme.be>
- Serajian, V., & Serajian, S. (2023). *VITRICYCLE: A Potential Breakthrough in Mattress Foam Recycling*. Edge Global Innovation, Inc.
- SMV – Sociéte Matelas Valorisation. (2023). *Bilan d'activité et indicateurs de performance environnementale*.
- Son, D. Y., & Lim, S. T. (2010). *Degradation behaviors of polyurethane foam in thermal and humid conditions*. Polymer Degradation and Stability, 95(6), 1030–1035.
- Statista Research Department. (2023). *Mattress Market Size Worldwide 2022–2028*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1122063/global-mattress-market-size/>
- Strong, D. E., & Brown, D. (1976). *Roman Crafts*. Gerald Duckworth & Co.
- Textile Exchange. (2022). *Preferred Fiber & Materials Market Report*.
- TFR Group. (2023). *Corporate Impact Report: Mattress Recycling Metrics*. <https://tfrgroup.co.uk>
- Togawa, Y., Kobayashi, T., & Tanaka, T. (2014). *Thermal and moisture management in spring and foam mattresses: Comparative study*. Building and Environment, 76, 121–129.
- UNE-EN 15359:2012. *Combustibles sólidos recuperados. Especificaciones y clases*. AENOR.
- UNE-EN 15442:2012. *Combustibles sólidos recuperados. Métodos de muestreo*. AENOR.
- UNE-EN 1957:2013. *Método de ensayo para la determinación de las propiedades funcionales de los colchones*
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures Report*.
- Wicks, Z. W., Jones, F. N., & Pappas, S. P. (2007). *Organic Coatings: Science and Technology*. Wiley-Interscience.



-WRAP UK. (2020). *Mattress Recycling: Cost Modelling and Infrastructure Requirements*.

-WRAP UK. (2022). *Bulky Waste: Opportunities for Resource Recovery – Mattress Case Studies*.

