

## NUEVOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PROVENIENTES DE DESECHOS AGRÍCOLAS

**Tomás Llorente Aguado**, Co-fundador, CombustionEco

**Ana Blasco Lahiguera**, Co-fundadora, CombustionEco

**Resumen:** La necesidad de aislar los edificios es fundamental a la hora de plantear EECN, y para ello se utilizan materiales generalmente derivados del petróleo que revisten estos edificios. Por otro lado, se producen quemas de materiales que “sobran” en sectores como agricultura, ganadería, artesanía,... A fin de reducir la quema de materiales sobrantes y la necesidad de manufacturar materiales para la construcción se ha desarrollado un compuesto formado por materiales de uso común incluso provenientes del reciclaje con propiedades aislantes e ignífugo con una resistencia al fuego estimada EI-C90 según varios experimentos realizados. Este compuesto puede reducir el uso de materiales derivados del petróleo empleados actualmente en la construcción, así como reducir las quemas agrícolas. Dentro de la familia de materiales aislantes desarrollados en el ámbito de esta investigación, se utilizan distintos materiales reciclados provenientes de sectores como la industria la agricultura y la alimentación, por lo que se potencia la economía circular.

**Palabras clave:** aislamiento térmico, protección contra incendios, reciclaje, sostenibilidad, lean startup, economía circular.

### INTRODUCCIÓN

El fuego es una fuente importante de daños a la propiedad y de pérdida de vidas. Se estima que el coste económico total de los incendios representa en torno al 1% del Producto Interior Bruto (PIB) en la mayoría de los países avanzados. Así pues, existe una necesidad de proteger los materiales contra posibles incendios y de ahí que existan normativas de seguridad específicas.

Con el fin de cumplir con estas normas de seguridad contra incendios, se aplican sustancias ‘retardantes de llama’ o ‘materiales ignífugos’ a los materiales combustibles, tales como plásticos, maderas, papel, textiles y equipos electrónicos. Se trata de productos químicos que se añaden a los materiales combustibles para aumentar su resistencia al fuego, dificultando así su ignición o impidiéndola completamente si el fuego es pequeño. Actualmente existe una gran diversidad respecto a los distintos materiales aislantes térmicos de edificios, no sólo en lo relativo a su composición – más o menos amigable con el medioambiente - sino también en la cantidad de energía necesaria para su elaboración, que puede llegar a 70 MJ/Kg.

Debido a la preocupación creciente en el ámbito de la salud pública, la Unión Europea ha dictado normas para eliminar o reducir la presencia de algunas de estas sustancias. También han sido incluidas en el [Convenio de Estocolmo](#) sobre contaminantes orgánicos persistentes a fin de reducir su presencia a nivel mundial. A consecuencia de estas y otras medidas, estos PBDEs, polibromodifeniléteres, identificados como conflictivos tienen que ser sustituidos por otros compuestos como el material presentado en este Proyecto.

### CONOCER LAS NECESIDADES DEL SECTOR Y APORTAR VALOR EN CADA PASO

A través de este proyecto se ha conseguido proponer soluciones a varios problemas en los sectores de la agricultura, el turismo, urbanismo y arquitectura.

La propuesta original trataba de aportar valor a los municipios costeros del levante generando nuevos contenidos culturales, sociales y económicos a través de la propuesta “Fallas del Mar” (Llorente, T. 2010). En este documentose proponía la realización de una escultura metálica sobre una plataforma que a su vez se sitúa sobre el mar cerca de la costa, paseo marítimo, malecón, etc. Sobre esta escultura metálica se habría de colocar otra escultura que sería objeto de una “cremà” a celebrar el fin de

semana anterior a las “cremàs” oficiales de Las Fallas o las Hogueras de San Juan. El material de la escultura destinado a ser quemado no suponía en ningún caso un perjuicio para el mar según estudios realizados por la Universidad de Castilla la Mancha. Una vez finalizada la “cremà” de la primera escultura, quedaría al descubierto la escultura metálica sobre la plataforma que flota en el mar. Posteriormente la escultura metálica se sumergiría en el fondo marino generando así una suerte de museo fallero submarino favoreciendo la biodiversidad marina y fomentando el turismo de actividades acuáticas a lo largo de todo el año.

A pesar de lo ilusionante de esta propuesta, no se encontró respaldo en ninguna instancia cultural, social o administrativa. Era necesario cambiar el paradigma de la propuesta inicial y encontrar las verdaderas necesidades de las personas, asociaciones o instituciones con intereses en el territorio rural-urbano.

**Metodología LEAN**

Pasar de la concepción (aún tradicional) centrada en el producto a una visión más centrada en el usuario / cliente /ciudadano es una de las bases de la metodología Lean Startup (Ries, E. 2011). De esta forma se inició el proceso de identificación de los “dolores” de los agentes involucrados, según la terminología empleada en el lienzo de propuesta de valor (Osterwalder, A. 2014) se reenfocó la propuesta de valor originalmente prevista en “Fallas del Mar”.

Así se llegó a la siguiente propuesta de valor.

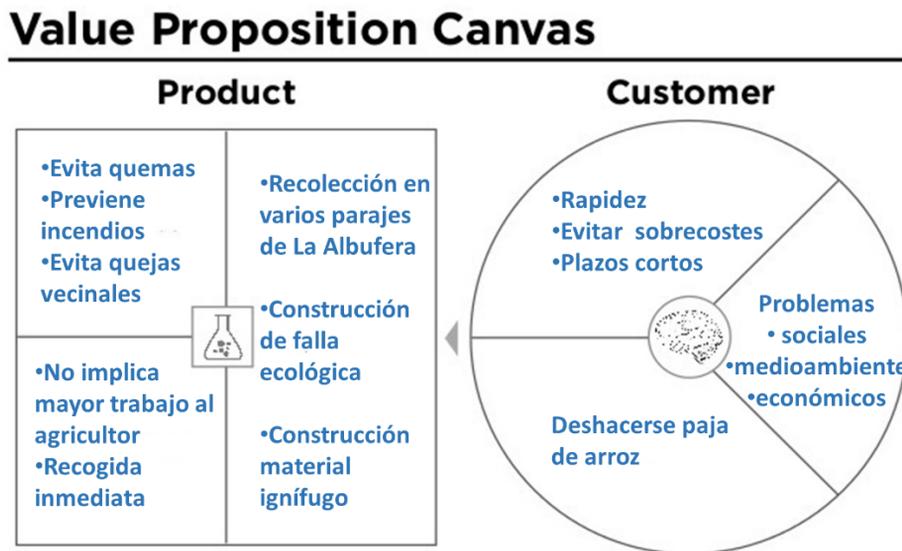


Figura 1. Paja value proposition canvas

Se identificaron los problemas que suponía a los agricultores la necesidad de deshacerse de la paja de arroz – especialmente en La Albufera. La práctica más generalizada es la quema de la paja en la propia Albufera, otras opciones son triturar la paja y esparcirla en el propio terreno o someterla a procesos de compostaje. Las dos últimas opciones suelen ser descartadas por suponer un mayor coste económico y demandar mayores plazos para obtener el resultado deseado de eliminar la paja

de arroz. Este conocimiento adquirido orientó la propuesta de valor hacia las necesidades de los afectados por los problemas detectados, de este modo se propuso inicialmente utilizar la paja de arroz de La Albufera para construir un monumento fallero (Las Fallas actualmente están construidas con Poli-estireno Expandido –PEE- que es un derivado del petróleo).

## **Problemática medioambiental, económica y social**

La producción de paja de arroz en la comunidad Valencia asciende a 117.000 ton/año, y sólo en La Albufera se alcanzan las 75-000 - 90.000 toneladas anuales. Si bien esto supone un foco económico de primer nivel, no está libre de problemas medioambientales ya que cada año los restos de paja de arroz se queman (incluso añadiendo gasolina) en la propia Albufera, que es un espacio protegido.

La contaminación atmosférica llega a alcanzar al casco urbano del municipio de Valencia produciendo un elevado impacto en la población y las consiguientes quejas vecinales y problemas de salud.



Figuras 2a y b. Visita a los campos quemados y quemas nocturnas en La Albufera.

A nivel administrativo también se generan inconvenientes entre la Administración regional y los agricultores ya que se expiden multas a los agricultores que realizan quemas fuera del corto plazo permitido. Hasta 800 multas se impusieron por parte de la policía por quemas por las noches o fuera de plazo tras la última campaña de recolección de arroz (Levante, 2017).

## **Producto mínimo viable y arquitectura efímera**

Como primera solución al empleo alternativo a la paja de arroz se acomete la iniciativa de construir un monumento fallero para demostrar la hipótesis de que se puede retirar el PEE de Las Fallas, de

este modo se está evitando la quema de la paja en un entorno natural protegido como es La Albufera y se está evitando el empleo de derivados del petróleo en la *cremà*.

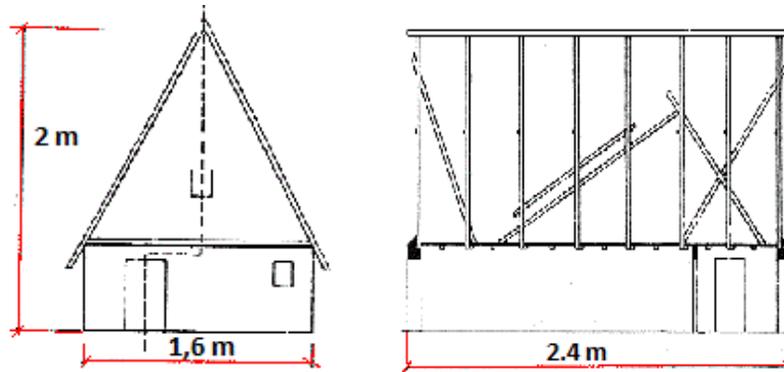


Figura 3. Alzado y sección monumento fallero con material experimental

La fabricación de la falla ecológica evolucionó siguiendo los pasos descritos en la metodología Lean, produciendo iterativamente productos mínimos viables que aportaran valor de forma incremental a los agentes intervinientes en el proceso fallero. Los pasos que se fueron validando comenzaron con la validación de propio material (figura 4a) tras varios procesos de consultas y pruebas para recabar el feedback de los artistas falleros, de forma que el material obtenido fuera cómodo de usar y tuviera la textura, maleabilidad, densidad y capacidad para ser cortado, pegado y pintado. Una vez obtenido el material adecuado se construyeron una barraca a pequeña escala para validar que la forma, la integración de los distintos materiales (la cubierta era de paja de arroz natural, sin tratar) produjera el efecto deseado a la hora de arder (figura 4b). La siguiente iteración supuso un grandísimo esfuerzo ya que se trataba de construir una falla modelo infantil a escala real, sólo contando con dos personas y apenas 3 meses. Este paso fue objeto de subprocesos internos de validación como diseño y prefabricación de las cerchas de la estructura, medidas y proporciones de la barraca para optimizar el material, tendiendo a un proceso de “cero residuos”, proceso de transporte a la zona de “plantá”, proceso de captación de fuegotras el encendido de la traca inicial, etc. de este proceso sólo se muestra la falla ecológica ya plantada en la plaza de la Virgen de la Merced junto a falleras mayores y “artistas falleros”

(figura 4c). El proceso iterativo culminó con la validación de que la falla construida con material derivado de la paja de arroz superó la “prueba de fuego” definitiva, la cremó el 19 de marzo de 2018 – figura 4d.



Figuras 4a, b, c y d. Proceso iterativo incremental de aportación de valor para la falla ecológica

Durante los procesos de aportación de valor hacia la consecución del objetivo final de la construcción, plnatá y cremà de la falla ecológica se produjeron retrocesos al no validarse las hipótesis planteadas en cada paso, por ejemplo, al comienzo el material no era manejable para los artistas falleros o era demasiado denso y estropeaba su maquinaria, o la pintura aplicaba impedía una combustión limpia del material, etc. La diferenciación de la metodología Lean es que esos pasos atrás son pequeños pasos atrás, es decir no suponen una pérdida sustancial de recursos, de materiales o de tiempo, sin embargo aportan un aprendizaje que se puede aplicar a los siguientes pasos cada vez de mayor relevancia y aportación de valor.

De especial relevancia para el proyecto fue una iteración de material en la que se quería validar una mejor cohesión y manejabilidad. El resultado fue que efectivamente el material era homogéneo, maleable, ligero, pero no era capaz de arder como era necesario para el objetivo final de la construcción de la falla ecológica. A pesar de la decepción inicial ese material ha evolucionado como el germen de una nueva línea de investigación, enfocada en algo aparentemente opuesto y apartir de esta invalidación de hipótesis inicial, se ha desarrollado un material con aún más potencial de aplicación en sectores como la construcción, medioambiente, mobiliario urbano y que además impulsa la economía circular, como se muestra más adelante.

## Material aislante e ignífugo 100% reciclado

Gracias a unas pruebas que no consiguieron el objetivo de falla ecológica se ha desarrollado un nuevo compuesto formado por materiales provenientes de reciclaje y de desechos agrícolas e industriales. Actualmente se encuentra en fase de pruebas y se están obteniendo resultados prometedores.

Para el desarrollo de este material también se está siguiendo el principio de metodología Lean, por lo que se realizó nuevamente un value proposition canvas derivado del originalmente diseñado para la falla, pero teniendo en cuenta las nuevas condiciones y nuevos actores que intervienen en el proceso.

Esta nueva necesidad añade complejidad al proceso por lo que la aplicación de la metodología Lean cobra aún más relevancia.



Figura 1. Prueba de exposición directa al fuego material ignífugo

Siguiendo con la metodología Lean, se han llevado a cabo varios experimentos con diversas composiciones de materiales 100% naturales o reciclados. Especialmente relevantes han sido los experimentos de resistencia al fuego. Como en el caso de la construcción de la falla ecológica se han elaborado subprocesos para llegar al objetivo de maximizar su resistencia al fuego del material reciclado.

Pasar de la concepción (aún tradicional) centrada en el producto a una visión más centrada en el usuario / cliente /ciudadano es una de las bases de la metodología Lean Startup (Ries, E. 2011). De esta forma se inició el proceso de identificación de los “dolores” de los agentes involucrados, según la terminología empleada en el lienzo de propuesta de valor ([Osterwalder, A. 2014](#)) se reenforzó la propuesta de valor originalmente prevista en “Material de alto poder calorífico”. Así se llegó a la siguiente propuesta de valor como un error mientras se investigaban diferentes aglutinantes.

Se identificaron los problemas que suponía a los agricultores la necesidad de deshacerse de la paja de arroz – especialmente en L’Albufera. La práctica más generalizada es la quema de la paja en la propia Albufera, otras opciones son triturar la paja y esparcirla en el propio terreno o someterla a procesos de compostaje. Las dos últimas opciones suelen ser descartadas por suponer un mayor coste económico y demandar mayores plazos para obtener el resultado deseado, el de eliminar la paja de arroz. Este conocimiento adquirido orientó la propuesta de valor hacia las necesidades de los afectados por los problemas detectados. Esto se ha probado en Valencia con MVP y con este proyecto lo pondremos en marcha en la provincia de Cuenca.

Por otro lado, se identificó el problema de la contaminación por plástico. Estudios recientes han documentado que al menos desde la década de los 50’s, se han producido más de 9,1 billones de toneladas de plástico, lo cual está generando un problema creciente que amenaza no sólo la tierra, sino también el agua y el aire; pues de estas, al menos 7 billones ya no son utilizadas, es decir, se han

convertido en basura. Para solucionar este problema hay que promover campañas como la de Reducir, Reutilizar, Reciclar.

Para todo esto, con este proyecto se pretende intentar solucionar dos problemas, evitar la quema de la paja y reciclar el plástico.

Para concluir, en este proceso hemos usado concretamente una metodología Lean construction que es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas).

Las últimas pruebas realizadas han consistido en la exposición directa al fuego con una llama alrededor de 600 grados centígrados durante 120 minutos. La clasificación estimada del material es en función de las pruebas realizadas.

-A1 por comportarse como material no combustible y por no contribuir al fuego durante un incendio

-S1 por emitir una cantidad de humo baja o casi nula

-d0 por no producirse gotas durante la exposición al fuego

Uno de las pruebas realizadas ha sido colocar directamente el dedo sobre la parte superior mientras la llama atacaba directamente al material en la parte inferior. A pesar de tener un espesor de apenas un centímetro y medio, el dedo se puede mantener apoyado en la parte superior, lo cual demuestra el elevado gradiente de aislamiento térmico que muestra este material.

El Material objeto de este proyecto está formado por materiales que actúan como “Compuesto de partida”, “Aglutinador” y “Antimicrobiano”.

El compuesto de partida es la paja de cereales como cebada, centeno, etc o aserrín.

Los materiales enunciados anteriormente tienen el potencial para ser utilizados como compuesto de partida, ya que sus propiedades estudiadas son válidas para el objeto de esta invención, la decisión en este caso por priorizar la paja de cereales como el arroz es debida a la mejora del medioambiente que esto supone en la Provincia de Valencia.

La paja de arroz es uno de los residuos más difíciles de gestionar, sobre todo en entornos naturales y con alto valor ecológico, como suelen ser los humedales donde se desarrolla este cultivo. Después de una serie de pruebas, se ha utilizado como compuesto de partida.

También para la función de Aglutinador se recurre en este caso a materiales de uso frecuente y común. El aglutinador es añadido para dar cohesividad a la paja de arroz, suministrando de este modo la suficiente coherencia para formar el compuesto objeto del proyecto, el cual bajo forma compactada se transforma en una masa aglutinada y obtener así un compuesto más resistente.

El antimicrobiano, se usará por su elevada acidez, ya que no solo asegura la inocuidad, sino que impide el crecimiento de microorganismos contaminantes.

## Características técnicas del compuesto del proyecto:

\* Densidad: 380 kg/m<sup>3</sup>

\* Estabilidad al fuego: hasta 180minutos

\* Comportamiento frente al agua: No es higroscópico, si sumergimos el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 4% en volumen.

\* Color: pardo

Si añadimos termoplásticos tipo PET hasta un 15% podemos reducir la aportación del aglutinador, a la vez que contribuimos a la eliminación de la contaminación marina, contribuyendo a reciclar una

parte de las más de 2 millones de ton/año de plástico que se vierten a los mares, ya que si no hacemos nada por retirar esta basura y frenar nuestro ritmo de vertidos, en 2050 doblaremos la cifra y para entonces los mares podrían tener más plásticos que peces y aproximadamente el 99% de las aves marinas habrían ingerido plástico.

Características técnicas añadiendo máximo 15% de plástico reciclado:

- \* Densidad: 360 kg/m<sup>3</sup>
- \* Estabilidad al fuego: 120 minutos
- \* Comportamiento frente al agua: No es higroscópico, si sumergimos el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen.
- \* Color: pardo

**Próximos Pasos**

Si bien la necesidad de recogida de paja de arroz se mantiene ahora es necesario añadir nuevas necesidades como la eliminación de otros residuos como plásticos. Producir una tonelada de plástico requiere dos toneladas de petróleo y conlleva un gasto energético equivalente al consumo eléctrico anual de 6 familias. El consumo anual de plástico en España es de 2 millones de toneladas, de los cuales el 70% son envases, y la mitad de ellos, botellas. El crecimiento en el consumo de plástico ha

pasado de 300 gramos al año en los años 60 a 115 kilos al año por persona. Actualmente se recicla el 30% del total y el 66% acaba en vertederos.

La introducción de nuevos materiales como el plástico ofrece la capacidad al material originalmente diseñado para ser empleado como aislamiento térmico e ignífugo, de ser empleado ahora como material de construcción.

Las pruebas realizadas introduciendo plástico al material demuestran que se gana en capacidad de resistencia mecánica y se mantiene una buena resistencia al fuego de 90 minutos.

La capacidad de reciclar plástico como parte del material de construcción alcanza las 27.000 botellas como parte integrante del cerramiento exterior de una vivienda de 70 metros cuadrados.

## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo inicial de este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo de nuestras familias que han sufrido estoicamente las incomodidades de la fabricación de prototipos y maquetas en casa, incluso colaborando activamente.

Vicente Betoret, Agustín (agricultor), Centro Unesco Valencia Mediterráneo, artistas falleros, la Falla de la Plaza de la Merced por el apoyo en la fase de construcción de la primera falla ecológica a base de paja de arroz.

Agradecimiento al Programa Startup Europe Accelerator de la Fundación Finnova, cuyo director Juan Manuel Revuelta lo ha acelerado, creído y apoyado en la estrategia de internacionalización de proyecto y presentación en proyectos pilotos europeos, Life y H2020.

A Lanzadera por creer en el proyecto del material ignífugo y su capacidad de satisfacer necesidades del mercado.

A Movisat por compartir nuestra visión innovadora aportando nuevos usos al material ignífugo.

A Plactherm y Niprom por darnos la oportunidad de realizar un proyecto piloto de éxito.

## REFERENCIAS

- [Osterwalder, A. \(2014\). Value proposition design: how to create products and services customers want. John Wiley and Sons.](#)
- Ries, E. (2011). The Lean Startup. USA: The New York Time Best Seller.
- [https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-03-2013\\_Aprovechamiento%20residuos/02-La-Energia-de-los-Residuos-ALBAINGENIEROS-fenercom-2013](https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-03-2013_Aprovechamiento%20residuos/02-La-Energia-de-los-Residuos-ALBAINGENIEROS-fenercom-2013)
- [https://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/contaminantes-organicos-persistentes-cop/obligaciones\\_Estocolmo\\_2.aspx](https://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/contaminantes-organicos-persistentes-cop/obligaciones_Estocolmo_2.aspx)
- <https://www.levante-emv.com/valencia/2017/12/08/policia-impone-800-multas-que-mar/1651931.html> (8 de diciembre 2017)
- <http://www.construible.es> (17 de mayo 2014)