

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DEL ALUMINIO

CONTRIBUCIÓN DE LOS  
MATERIALES PERMANENTES  
AL USO SOSTENIBLE DE LOS  
RECURSOS

---

# INTRODUCCIÓN

En los últimos años los formuladores de políticas han trabajado en la definición de estrategias que permitan implementar los objetivos derivados del Desarrollo sostenible y de la Economía circular. En este marco, se debe promover una gestión responsable de los recursos minimizando los flujos materiales enviados a vertedero e incineración. También se ha de promover el uso de recursos renovables o de aquellos recursos cuyo valor se pueda mantener durante el mayor tiempo posible. Entre estos últimos se encuentra los materiales que pueden ser reciclados en ciclo cerrado sin pérdida de calidad o sin la necesidad significativa de integrar recursos primarios durante el reciclaje.

El concepto de recurso renovable está bien definido ya que ha sido ampliamente tratado por la literatura científica, las normas internacionales

y la legislación tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Por el contrario, la capacidad de un material para conservar su valor a lo largo del ciclo de vida de los productos y tras el reciclaje de los mismos no goza de un marco bien establecido, aunque en los últimos años la denominación materiales permanentes ha comenzado a aparecer en documentos oficiales, normas internacionales, estudios científicos y campañas de comunicación.

El objetivo de este informe es la revisión del concepto de material permanente. Teniendo en cuenta las consideraciones que de él se derivan, se ha realizado una evaluación del uso sostenible de diferentes materiales empleados en la fabricación de sistemas de cerramiento para edificios.

## ANTECEDENTES

La primera mención al término materiales permanentes en la legislación europea se remonta a la Resolución del Parlamento Europeo del 24 de mayo de 2012, sobre una Europa que utilice eficazmente los recursos 2011/2068(INI)<sup>(1)</sup>. En este texto se establece que vista la Comunicación de la Comisión titulada «Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos» (COM(2011)0571)<sup>(2)</sup>, se considera “que una futura política de recursos integral no debe seguir distinguiendo simplemente entre recursos renovables y no renovables, sino que debe ampliarse a materiales permanentes”. En el texto no se da una definición del concepto porque tal vez se considera evidente, al menos en su sentido más amplio.

En un plano no legislativo, el concepto de materiales permanentes se encuentra en la norma británica BS 8905: 2011<sup>(3)</sup>. Esta norma describe procedimientos para tomar decisiones informadas en la selección del material óptimo para una determinada aplicación o producto, teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos y ambientales. La norma establece una definición para varias propiedades de los materiales, entre las que se encuentra la calidad de “permanente”. La norma entiende como tal, aquellos materiales

para los que, alcanzado el final de la vida del producto, se pueda retener los recursos invertidos en su producción, ya sea a través de la reutilización o del reciclaje, sin que haya pérdida de calidad por muchas veces que éste último se repita.

En un plano científico se encuentra el informe emitido por Carbotech bajo el título “Permanent Materials - Scientific background”<sup>(4)</sup>. Este documento proporciona una base teórica y metodológica para clasificar claramente los materiales (y las aplicaciones en que se usan) de acuerdo con su alineamiento con el concepto de material permanente. En el siguiente capítulo se exponen los puntos más importantes de este estudio.

La idea de material permanente va más allá de la dinámica de producción y consumo de productos. Con los materiales permanentes se puede sustituir la idea de “consumo” por la de “uso” de los materiales. Durante este uso continuado se debe asegurar la conservación máxima del valor y la regeneración del material para los sucesivos ciclos. De esta forma se minimiza la demanda de materias primas vírgenes y la pérdida irreversible de materiales.

# MATERIALES PERMANENTES

En el estudio de Carbotech<sup>(4)</sup> se determina que una característica esencial de un material permanente es que las propiedades inherentes, aquellas que le permiten desempeñar su función como parte de un producto, no cambian ni por el uso ni tampoco por el reciclaje repetitivo en nuevos productos. El informe denomina esta característica como “permanencia físico-química”, concepto que se desarrolla a continuación.

## PERMANENCIA FÍSICO-QUÍMICA

La permanencia físico-química se centra en las características fundamentales que definen a los materiales permanentes, que son el reciclaje repetitivo sin pérdida de calidad y la no necesidad de integración significativa de recursos primarios durante el proceso. También establece explícitamente que la permanencia físico-química supone la mínima degradación de las propiedades intrínsecas del material durante la etapa de uso. Esta degradación compromete en ocasiones la reciclabilidad del material y en otras supone que la vida útil se vea reducida. Por tanto, tres son los factores que condicionan la permanencia físico-química tras sucesivos reciclajes:

- No sufrir degradación durante la vida útil, al menos no hasta el punto de comprometer las características funcionales de origen.
- Permitir el reciclaje alcanzando el mismo nivel de calidad, o de características funcionales, que el material original.

- Permitir reciclaje en ciclo cerrado, es decir, que no se requiera la adición significativa de material primario para fabricar un producto con el mismo nivel de prestaciones.

En la Figura 1, se muestra la evolución de la calidad de los materiales tras sucesivos reciclajes. Resulta obvio que el valor económico del material está fuertemente relacionado con dicha calidad. Los materiales con permanencia físico-química, a), son capaces de restaurar su calidad tras cada reciclaje a la vez que la etapa de uso se extiende en el tiempo por la ausencia significativa de degradación. En el otro extremo se encuentran los materiales que no cumplen con ninguna de estas condiciones, b), caracterizados por una pérdida de calidad y del valor del material tras cada reciclaje a la vez que su vida útil se ve acortada. La Figura 1 representa obviamente dos casos extremos de materiales que admiten el reciclaje tras el fin de vida del producto.

La capacidad de un material para cumplir con los requisitos mencionados depende en primera instancia de la constitución física y química de sus componentes básicos. La estabilidad microestructural y química, el tipo de compuestos que lo forman y la naturaleza de los enlaces entre elementos químicos de estos compuestos, y a su vez entre ellos mismos, condicionan el potencial máximo de reciclaje de un material en los términos descritos.

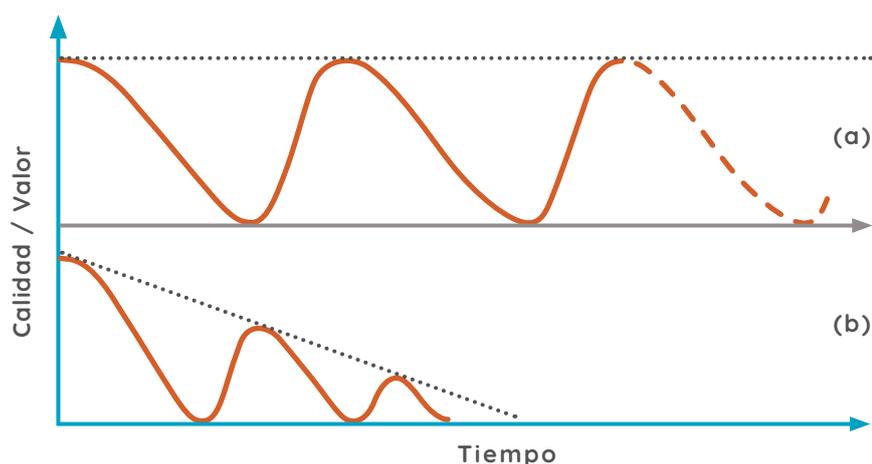


Figura 1. Evolución de la calidad y valor retenido de una material tras sucesivos ciclos de reciclaje

## GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA

En la realidad, que un material pueda incorporarse de nuevo a los flujos de entrada de un nuevo producto, ya sea de la misma familia o de otra, no sólo depende de su permanencia físico-química. Como se ha dicho, ésta en definitiva determina el máximo teórico de reciclaje. En términos prácticos, la capacidad efectiva de reciclaje se ve limitada por la gestión sostenible o no del ciclo de vida que se haga del material, aspecto también definido en el informe de Carbotech<sup>(4)</sup>. Para evaluar si un material se puede considerar como permanente, y por tanto que se garantice el uso sostenible del recurso, se deberán tener en cuenta otros factores que se describen a continuación.

## DISPONIBILIDAD Y DEMANDA

Son varios los factores que influyen en la disponibilidad de los materiales para el reciclaje después de la vida útil de los productos:

- Aplicación del material y diseño del producto. La posibilidad de recuperación del material finalizada su vida útil viene determinada en primaria instancia por la función que cumple el material como parte de un componente, el tamaño de estos componentes, cómo estos se disponen en el producto, e incluso el propio escenario de uso.
- Tasa de recuperación. La eficiencia en la recuperación de los materiales está condicionada por la existencia de cadenas logísticas, instalaciones y tecnologías adecuadas para la recogida selectiva, la separación y clasificación de los flujos de materiales.
- Rendimiento en el reciclaje. A todo lo anterior se ha unido la concurrencia de tecnologías adecuadas para el reciclaje efectivo. Éstas han de permitir la eliminación de las impurezas que limiten las aplicaciones potenciales del material secundario generado.

Por último, para que un material pueda ser considerado como permanente se debe asegurar que el material secundario generado en el reciclaje tiene un fin específico y además existe un mercado o demanda. Esto último se encuentra alineado con parte de los criterios para el fin de condición de residuo que establece la Directiva Marco de Residuos 2008/98/EC<sup>(5)</sup>.

## CUMPLIMIENTO LEGAL

Para cumplir con el resto de criterios para el fin de condición de residuo de la Directiva 2008/98/EC<sup>(5)</sup>, el uso posterior de los materiales debe cumplir con todos los requisitos relativos a la protección de la salud humana y del medio ambiente así como con la legislación y las normas vigentes aplicables a los productos en los que se emplea.

Se trata por tanto de evitar la promoción de aquellos materiales cuya permanencia físico-química y disponibilidad permitan el reciclaje repetitivo pero que pueden ser perjudiciales para los seres humanos o los ecosistemas, o incumplan con los requisitos legales aplicables a los productos en que se usen.

## CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD

Un tercer conjunto de requisitos para que un material pueda ser considerado permanente es que el uso del material reciclado aporte un valor adicional con respecto al de los materiales vírgenes, y que la sustitución de estos últimos por los primeros contribuya al desarrollo sostenible. El valor añadido tendrá por tanto que definirse en términos de conveniencia ambiental, económica y social.

- Evaluación ambiental. En un principio, todo material podría transformarse en los elementos químicos que lo componen y, posteriormente, con ellos volver a sintetizar el material original. Sin embargo, el esfuerzo derivado de esta transformación puede ser muy alto tanto en términos ambientales como económicos. La sustitución de la producción primaria por el material generado por el reciclaje debe suponer una reducción de impactos ambientales, como por ejemplo la huella de carbono, la energía incorporada o cualesquiera otros indicadores obtenidos por la metodología del análisis de ciclo de vida.

- Evaluación económica. La recogida selectiva de los materiales, la clasificación de corrientes de residuos mixtos y las propias operaciones de reciclaje deben suponer una realidad industrial con viabilidad económica. De igual forma a como sucede con el criterio ambiental, la conveniencia económica de estas operaciones se debería evaluar bajo metodologías consolidadas como el análisis de costes de ciclo de vida.

- Evaluación social. Los aspectos sociales también han de ser incluidos en la evaluación de los sistemas que usan y reciclan materiales. Aunque sí se han realizado numerosos trabajos acerca de las consecuencias sociales derivadas de la extracción y el uso de materias primas vírgenes, la complejidad de los sistemas que usan y

reciclan repetidamente los materiales supone una barrera para la aplicación de estas metodologías. De nuevo se ha de apostar por la perspectiva de ciclo de vida en la selección de herramientas de evaluación a pesar de que éstas se encuentran menos desarrolladas que las que evalúan los aspectos ambientales y económicos.

## EVALUACIÓN DEL USO SOSTENIBLE DE RECURSOS MATERIALES

Tras lo expuesto anteriormente, se han de introducir dos niveles de evaluación a la hora de considerar si una solución material se puede considerar como permanente. Por un lado, la mera permanencia físico-química, que depende solo de la naturaleza intrínseca del material; y por otro, la retención efectiva del valor y de la calidad de los materiales considerando la gestión del ciclo de vida bajo criterios de sostenibilidad. De hecho podría darse la situación de que un material con capacidad de reciclarse de forma indefinida sin pérdida de propiedades al pasar a formar parte de un nuevo producto no cumpliera con alguno de los requisitos relativos a la gestión sostenible del ciclo de vida.

Teniendo en cuenta estas consideraciones ya se puede abordar de una forma precisa la recomendación de la Resolución del Parlamento Europeo 2011/2068(INI)<sup>(1)</sup> por la que se instaba a no seguir distinguiendo simplemente entre recursos renovables y no renovables, sino a incluir también la calidad de permanente en la evaluación del uso sostenible de los recursos.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo para determinar si se realiza o no un uso sostenible de los recursos teniendo en cuenta tanto la renovabilidad como la naturaleza permanente de los materiales.

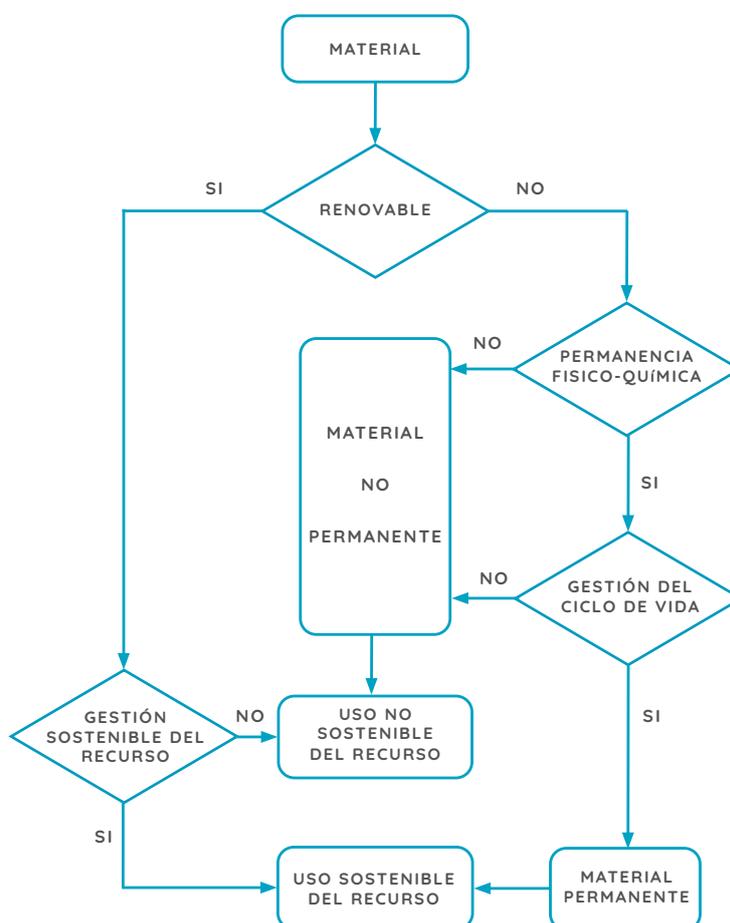


Figura 2. Evaluación del uso sostenible de recursos materiales

## CASOS DE ESTUDIO

El uso sostenible de un material va indisolublemente asociado a la función que cumple dentro de un producto o sistema. En este informe se propone casos de estudio en que se evalúan los materiales empleados en sistemas de cerramientos para huecos en edificios como son las puertas y las ventanas.

Aunque son muchos los componentes de los que constan estos sistemas, el estudio se enfoca en los materiales empleados en la fabricación de los marcos para lo que en la mayoría de los casos se emplea el aluminio, el PVC y la madera. A continuación se evalúa el uso sostenible de estos materiales.

### ALUMINIO

El aluminio se produce a partir de la bauxita, mineral no renovable aunque uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre<sup>(6,7)</sup>. De acuerdo con la Figura 2, para determinar si se realiza un uso sostenible del aluminio se debe considerar tanto su permanencia físico-química como la gestión del ciclo de vida.

#### Permanencia físico-química

El aluminio se caracteriza por su elevada reciclabilidad. En el proceso de reciclaje, el aluminio se funde en hornos de colada. Durante este proceso se ha de incorporar pequeñas cantidades de aluminio primario y de algunos elementos aleantes con el fin de alcanzar la composición requerida. Tras el enfriamiento, y posterior tratamiento térmico, se restituyen por completo la microestructura y las propiedades inherentes de la aleación<sup>(8)</sup>. De esta forma se justifica que el aluminio reciclado pueda sustituir, en los mismos términos de calidad, a las aleaciones obtenidas con materiales primarios. Además, este proceso puede llevarse a cabo cuantas veces se requiera sin menoscabo de la calidad del material.

Durante la etapa de uso del aluminio no se produce degradación de las propiedades del metal mostrando un comportamiento excelente frente al agua y a la radiación ultravioleta<sup>(7)</sup> que son dos de los principales agentes a los que se encuentran expuestos los cerramientos en los

edificios. Esto hace que la durabilidad del aluminio sea elevada, incrementada por los acabados superficiales de anodizado o lacado. Esto supone que la vida útil de los cerramientos realizados con aluminio sea superior frente a otras soluciones<sup>(9-17)</sup>.

#### Disponibilidad

La recuperación de los perfiles de aluminio al final de la vida útil de puertas y ventanas es muy elevada ya que se han documentado tasas de recuperación que alcanzan el 95%<sup>(18-20)</sup> mientras que el rendimiento del reciclaje supera el 90%. La presencia de plásticos en los perfiles de aluminio, como sucede con las láminas de rotura de puente térmico o con la pintura de los perfiles lacados, puede disminuir la eficiencia durante el reciclaje aunque ésta sigue siendo próxima al 90%, valor que suele considerarse por defecto<sup>(19)</sup>.

#### Cumplimiento legal

Tanto el aluminio primario como el secundario carecen en su composición de sustancias que puedan resultar perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, en cumplimiento con la Reglamenteo REACH, en la última década se ha eliminado la utilización del Cromo VI empleado durante el proceso de anodizado de perfiles de aluminio<sup>(7)</sup>.

#### Contribución a la sostenibilidad

El reciclaje de aluminio goza de ventajas ambientales frente a la fabricación de aluminio primario. Si se utilizan las emisiones de gases de efecto invernadero como indicador, la huella de carbono del aluminio reciclado se encuentran en valores comprendidos entre 0,5 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(21)</sup> y 0,79 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(22)</sup>. Las emisiones derivadas de la fabricación del aluminio primario dependen en gran medida del origen de la energía empleada en el proceso de electrólisis. Para el aluminio producido en Europa se encuentra entre los 6,7 CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(21)</sup> y 7,2 CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(22)</sup> mientras que la media mundial es de 17 CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(21)</sup>.

El alto valor de la chatarra de aluminio<sup>(23-25)</sup> garantiza la existencia de una cadena logística de recuperación, incluso a nivel internacional.

De esta manera se asegura el retorno hasta las instalaciones de refusión incluso de aquella chatarra de aluminio que pueda estar mezclada con otros materiales. La viabilidad económica de esta operaciones contribuye de forma positiva al criterio económico del análisis de sostenibilidad.

## PVC

El PVC, como el resto materiales plásticos, se produce a partir de coproductos generados tras la destilación de petróleo en las refinerías lo que lo convierte en un material no renovable. De nuevo, de acuerdo a la Figura 2, para determinar si se realiza un uso sostenible de este recurso se debe considerar tanto su permanencia físico química como la gestión del ciclo de vida.

### Permanencia físico-química

El PVC pertenece a la familia de los polímeros termoplásticos que, como otros sólidos no cristalinos, se caracterizan por tener una temperatura a la que se produce la transición desde el estado sólido a un líquido viscoso que permite moldearlos. En el caso del PVC rígido, esta temperatura se encuentra entre los 80°C y 88°C mientras que su temperatura de fusión se sitúa alrededor de los 200°C. Los plásticos como el PVC están formados por macromoléculas consistentes en largas cadenas de átomos de carbono de un elevado peso molecular.

El reciclaje de PVC de construcción se realiza por vía mecánica por la que los residuos se procesan principalmente mediante troceado, tamizado y triturado de los perfiles. Primero se clasifican manualmente los perfiles para separar el PVC de color blanco del resto de colores. Posteriormente se trocean con el fin de separar los componentes metálicos de los marcos y finalmente la fracción de PVC se tritura en forma de polvo o gránulos<sup>(26)</sup>. Durante el proceso de triturado y también por el calentamiento posterior durante el conformado de nuevos productos, se produce un acortamiento de las macromoléculas lo que resulta en una disminución de su peso molecular medio con la consiguiente variación de aquellas propiedades que dependen de esta variable<sup>(27-29)</sup>. Esto se conoce como degradación termomecánica y supone una pérdida de propiedades en los plásticos reciclados que afecta a su comportamiento mecánico aunque también a afecta a las ópticas<sup>(27,28,30,31)</sup>.

A la degradación termomecánica se une la degradación derivada del uso del material. En el caso de productos que desempeñan su función en exteriores, como son los cerramientos, los efectos derivados de la exposición a la radiación ultravioleta pueden llegar a ser significativos. Esto es de especial relevancia en el caso de los polímeros ya que la energía de la radiación ultravioleta (rango de 280 a 400 nm) es de mismo orden que la energía que mantiene unidos a los átomos de carbono dentro de las macromoléculas. La degradación por radiación UV de los plásticos también afectan a sus propiedades mecánicas.

Para evitar esta degradación los materiales como el PVC se procesan con cantidades significativas de aditivos como estabilizantes frente a la radiación UV o antioxidantes. Entre los aditivos también se encuentran los retardantes de llama que aumentan la resistencia a la ignición. Algunos de estos aditivos, como sucede con los antioxidantes y estabilizantes de la UV, cumplen su función degradándose intencionadamente lo que aumenta la cantidad de contaminantes potenciales en el material al final de su vida útil.

Esta contaminación afecta a la pureza de los residuos plásticos a la entrada del reciclaje provocando una pérdida en la calidad del producto final y en la eficiencia del propio proceso. Para restaurar las propiedades del PVC es necesario la mezcla de cantidades importantes de material primario y de nuevos aditivos<sup>(27,32)</sup>. La cantidad máxima de PVC reciclado que se suele incorporar en la fabricación de nuevos perfiles es del 30% mientras que el número de veces que se puede reciclar de forma efectiva es limitado<sup>(33)</sup>.

La durabilidad de los perfiles de PVC se ve afectada por todas estas circunstancias acortando la vida útil de los cerramientos en relación a otros materiales<sup>(9-13,15-17)</sup>.

### Disponibilidad

En construcción, la tasa efectiva de PVC enviado a reciclaje se sitúa en un 34%<sup>(19,20,34)</sup> mientras que el 41% se envía a valorización energética y el restante 25% a vertedero<sup>(34)</sup>. La principal barrera para incrementar la tasa de reciclaje se encuentra en la falta de rentabilidad económica del proceso aunque de esto se hablará al evaluar el criterio económico del análisis de sostenibilidad. Por otro lado, la eficiencia en el reciclaje de PVC

empleado en marcos de ventana se sitúa en un 90% en caso en que no se disponga de datos específicos<sup>(19)</sup> aunque un valor más realista puede resultar bastante inferior<sup>(15,35)</sup>.

### Cumplimiento legal

La resina primaria de PVC no contiene sustancias que puedan resultar perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, la presencia de aditivos para mejorar sus propiedades puede llegar a ser significativa como ya se ha mencionado anteriormente. La naturaleza química de estos aditivos es muy diversa y en su composición pueden aparecer sustancias peligrosas para la salud y el medio ambiente. El sector ha dedicado grandes esfuerzos en la eliminación paulatina de metales empleados en los estabilizantes tradicionales como el plomo o el cadmio (prohibidos por el Reglamento REACH en proporción superior a 0,1%), sustituyéndolos por calcio y zinc.

No obstante, el reciclaje del PVC postconsumo se ve comprometido por la presencia de plomo en todo el PVC instalado con anterioridad a la entrada del Reglamento REACH. El Parlamento Europeo considera que la restricción del uso de plomo en el PVC no solo se ha de aplicar a la producción de PVC virgen sino también al PVC obtenido del reciclaje<sup>(36)</sup>.

### Contribución a la sostenibilidad

El reciclaje de PVC representa ventajas ambientales frente a la fabricación del material virgen. Si se utilizan las emisiones de gases de efecto invernadero como indicador, la huella de carbono del PVC reciclado se encuentra en torno a 1,1 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(7)</sup>. Las emisiones derivadas de la fabricación de PVC primario se encuentran entre 2,3 CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(22)</sup> y 2,7 CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>(7)</sup>.

Como se ha visto, la recogida de los residuos de PVC constituye el principal cuello de botella en relación a la disponibilidad del material para su reciclado. Esto es debido a la baja rentabilidad del proceso en su conjunto ya que los costes netos del reciclado, es decir, los costes de recogida, separación y transformación menos los ingresos obtenidos de la venta de los productos reciclados, no son competitivos frente a los de otras vías de gestión de residuos<sup>(37)</sup>. Además de la creación de la logística de recogida y de las instalaciones de reciclado con cobertura

suficientemente amplia, se hace necesario incentivar económicamente la recogida y segregación en origen de los residuos de PVC en construcción, a menos que se desarrollen normativas de obligado cumplimiento o se pongan en marcha iniciativas voluntarias promovidas por la propia industria del PVC<sup>(38,39)</sup>. Sin embargo, la viabilidad económica no es clara y está condicionada a múltiples factores como la distancia hasta los centros de tratamiento o los medios empleados en la clasificación de los perfiles<sup>(40)</sup> lo que provoca que una fracción significativa de los perfiles de PVC aún escapen al esquema de recogida implementado por el sector.

## MADERA

La madera es un material clasificado como renovable, aunque esta circunstancia por sí sola no garantiza el uso sostenible del recurso (Figura 2). El uso sostenible de la madera exige llevar a cabo una gestión forestal ambiental, económica y socialmente viable de los bosques de donde se extrae así como garantizar la cadena de custodia de las instalaciones que transforman la madera. Las dos certificaciones más importantes que garantizan la gestión sostenible de la madera son FSC y PEFC cuya estructura es muy similar teniendo ambas un amplio reconocimiento internacional.

La Figura 2 presupone que un material renovable no puede alcanzar la consideración de material permanente. Esta circunstancia se debe a que aun garantizándose una gestión sostenible del recurso, la naturaleza de los materiales renovables no permite alcanzar los requisitos de permanencia físico-química.

Por ejemplo, la madera procedente de cerramientos puede triturarse para obtener un material desintegrado con el que fabricar tableros de partículas. Esto en sí supone un infrareciclaje con una pérdida clara de valor, además la función de estos tableros es diferente a la que cumplen los perfiles de madera maciza de los que proceden no dándose la condición de reciclaje en ciclo cerrado. Una vez que los perfiles se convierten en tableros de partículas, estos se pueden reciclar varias veces aunque las pérdidas, tanto en calidad como en cantidad, van en aumento tras cada ciclo.

La exposición a las condiciones exteriores de los cerramientos de madera no produce una degradación significativa del material siempre y cuando se realice un mantenimiento periódico consistente en la aplicación de lasures que en algunos casos pueden contener filtros de radiación UV y agentes biocidas. Esto hace que los sistemas de cerramientos de madera se encuentra entre aquellos con mayor vida útil en comparación con otros materiales<sup>(9-13,15,16)</sup>.

La tasa de recuperación de perfiles de madera para el reciclaje depende de las prácticas de capa país, e incluso pueden variar de unas regiones a otras dentro del mismo. El informe<sup>(41)</sup> considera que para países del sur de Europa este valor puede ascender hasta el 62% aunque otras fuentes<sup>(20)</sup> sitúan este valor en 30%. Además del reciclaje, los tratamientos de fin de vida más frecuentes para la madera son la valorización energética y la disposición final en vertedero.

## CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES EVALUADOS

La Tabla 1 resume la evaluación de los criterios que determinan si un material puede o no ser clasificado como permanente para el aluminio, el PVC y la madera.

Al ser la madera un material renovable, no puede ser considerado como permanente (Figura 2), cuestión que se ve refrendada al evaluar su permanencia físico-química. No obstante, este

Tabla 1. Evaluación de criterios para determinar la calidad permanente del aluminio, PVC

		ALUMINIO	PVC	MADERA
PERMANENCIA FÍSICO-QUÍMICA	Conservación de calidad/valor			
	Degradación/Vida útil			
DISPONIBILIDAD	Tasa recuperación			
	Eficiencia reciclaje			
GESTIÓN CICLO DE VIDA	Cumplimiento legal			(3)
	Evaluación ambiental <sup>(2)</sup>			(3)
	Evaluación económica			(3)
	Evaluación social		(3)	

(1) Mantenimiento periódico consistente en la aplicación de tratamientos superficiales

(2) Reducción de huella de carbono del material reciclado frente al primario

(3) Criterio no evaluado

material pertenece al ciclo biológico<sup>(42)</sup>, y su capacidad de regeneración queda garantizada si se realiza una gestión responsable del recurso, como ocurre con las certificaciones de madera sostenible. En contraposición, aluminio y PVC pertenecen al ciclo técnico<sup>(42)</sup>, en el que se ha de mantener el valor añadido de los materiales, componentes y productos sin la pérdida de sus propiedades y funciones.

Teniendo en cuenta estas circunstancias los materiales evaluados en este informe pueden clasificarse de acuerdo a la Figura 3.

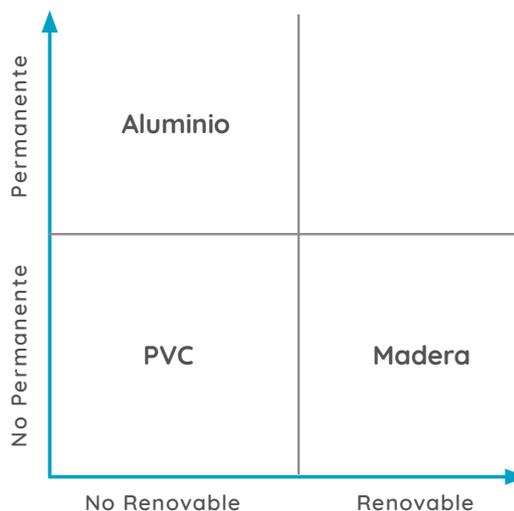


Figura 3. Clasificación de los materiales evaluados

## CONCLUSIONES

Para evaluar la sostenibilidad del uso de los materiales se ha de tener en cuenta tanto la condición renovable o no de los recursos, como el carácter permanente o no de los mismos.

Si bien el concepto de recurso renovable se ha tratado con profusión durante décadas, no sucede igual con el de material permanente. De acuerdo a la documentación revisada, los materiales permanentes se caracterizan por el reciclaje repetitivo sin pérdida de calidad y la mínima degradación de sus propiedades intrínsecas durante la etapa de uso. Aún siendo estos requisitos ineludibles, para que un material se pueda considerar como permanente se debe asegurar también la gestión correcta de su ciclo de vida teniendo en cuenta la aplicación a la que se destina, la disponibilidad al final de la vida útil, el cumplimiento de los requisitos legales y la conveniencia ambiental, económica y social de los reciclajes sucesivos.

Todos y cada uno de estos requisitos han de concurrir para alcanzar la condición de material permanente, y por tanto el uso sostenible de los recursos (Figura 2).

En este informe se ha realizado una evaluación de la sostenibilidad del uso de diferentes materiales empleados en la fabricación de cerramientos para edificios: aluminio, PVC y madera.

El aluminio primario procede de recursos no renovables aunque por su naturaleza, y para la aplicación evaluada, cumple con todos

los requisitos de los materiales permanentes contribuyendo así al uso sostenible de los recursos de los que procede.

El PVC proviene igualmente de recursos no renovables, y para la aplicación evaluada, no cumple con los requisitos de permanencia físico-química mientras que la gestión de su ciclo de vida se ve comprometida tanto por la disponibilidad del material como por el cumplimiento legal y el criterio económico. Por tanto, el PVC no contribuye al uso sostenible de los recursos de los que procede.

La madera es un material renovable por lo que de partida no cumple con los requisitos de los materiales permanentes. No obstante, se puede garantizar el uso sostenible del recurso siempre y cuando se realice una gestión sostenible de los bosques y se garantice la cadena de custodia.

La madera pertenece al ciclo biológico y por su capacidad de regeneración natural se permite la pérdida irreversible de materiales una vez agotadas las posibilidades de reutilización y reciclaje.

En cambio, aluminio y PVC pertenecen al ciclo técnico en el que se ha de mantener el valor añadido de los materiales, componentes y productos sin la pérdida de las propiedades y funciones. Es por tanto en el ciclo técnico donde el carácter permanente o no de un material alcanza su máximo protagonismo para determinar el uso sostenible del mismo.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Resolución del Parlamento Europeo, sobre una Europa que utilice eficazmente los recursos (2011/2068(INI)), 24 de mayo de 2012.
- [2] Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos - Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, COM(2011) 571 final, (2011).
- [3] BSI, BS 8905:2011 Framework for the assessment of the sustainable use of materials. Guidance.
- [4] F. Conte, C. Ag, F. Dinkel, T. Kägi, A.G. Carbotech, Z. Prof, T. Heim, S. Rösger, S. Seehausen, Final report Permanent Materials Scientific background Publishing information, 2014. www.carbotech.ch (accessed June 22, 2021).
- [5] Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos, (2008).
- [6] M.A.J. Huijbregts, ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization
- [7] CES-Edupack, Granta design limited, (2020). <http://www.grantadesign.com/education/edupack/>.
- [8] Recycling aluminium. A pathway to a sustainable economy. European Aluminium, 2015.
- [9] N.P. Howard, J. Burgess, C. Lim, Comparative service life assessment of window systems Forest & Wood Products Research & Development Corporation, (n.d.). [http://www.fwpa.com.au/images/marketaccess/PR07.1047\\_Final\\_Report\\_WEB.pdf](http://www.fwpa.com.au/images/marketaccess/PR07.1047_Final_Report_WEB.pdf).
- [10] M. Asif, T. Muneer, J. Kubie, Sustainability analysis of window frames, Build. Serv. Eng. Res. Technol. 26 (2005) 71-87. <https://doi.org/10.1191/0143624405bt118tn>.
- [11] S. Citherlet, F. Di Guglielmo, J.-B. Gay, Window and advanced glazing systems life cycle assessment, Energy Build. 32 (2000) 225-234. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00073-5).
- [12] Housing Association Property Mutual, Housing Association Property Mutual, HAPM: Component life manual, Spon, 1992. [https://books.google.es/books/about/HAPM\\_Component\\_Life\\_Manual.html?id=1vCLPgAACAAJ&source=kp\\_cover&redir\\_esc=y](https://books.google.es/books/about/HAPM_Component_Life_Manual.html?id=1vCLPgAACAAJ&source=kp_cover&redir_esc=y) (accessed April 17, 2018).
- [13] WCC, Comparative Assessment of Window Types, Worcester City Council, 1990.
- [14] Manteniment de l'edifici: Fitxes, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya: IteC, 1991.
- [15] J. Anderson, D. Shiers, K. Steele, J. Wiley, The green guide to specification, fourth edition. An Environmental Profiling System for Building Materials and Components Fourth edition, (n.d.). [http://moodle.nptcgroup.ac.uk/pluginfile.php/1018700/mod\\_resource/content/1/Green\\_guide\\_to\\_specification.pdf](http://moodle.nptcgroup.ac.uk/pluginfile.php/1018700/mod_resource/content/1/Green_guide_to_specification.pdf)
- [16] S. Carlisle, E. Friedlander, The influence of durability and recycling on life cycle impacts of window frame assemblies, Int. J. Life Cycle Assess. 21 (2016) 1645-1657. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1093-x>.
- [17] Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Code Nr. KG-2. Ebene KG-3. Ebene Bauteil / Material a Ersatz in 50a, 2011.
- [18] Life-Cycle inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe. Environmental Profile Report. February 2018.
- [19] EN 17213:2019 -Windows and doors - Environmental Product Declarations - Product category rules for windows and pedestrian doorsets.
- [20] S. Manfredi, K. Allacker, K. Chomkamsri, N. Pelletier, D. Maia De Souza, Product Environmental Footprint (PEF) Guide, 2012. [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF\\_methodology\\_final\\_draft.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF_methodology_final_draft.pdf)
- [21] Circular aluminium action plan. A strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030, Bruselas, 2020.
- [22] Ecoinvent Database. <http://www.ecoinvent.org/database/>.
- [23] London Metal Exchange. <https://www.lme.com>.
- [24] Aluminum Market Outlook | Aluminium Analysis & Research | CRU, (n.d.). <https://www.crugroup.com/analysis/aluminium/> (accessed June 23, 2021).
- [25] Scrap Metal prices in USA, Midwest, East Coast, West Coast, South West| SCRAP REGISTER, (n.d.). <http://www.scrapregister.com/scrap-prices/united-states/260> (accessed June 23, 2021).
- [26] H. Stichnothe, A. Azapagic, Life cycle assessment of recycling PVC window frames, Resour. Conserv. Recycl. 71 (2013) 40-47. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2012.12.005>.
- [27] G. Curtzwiler, K. Vorst, J.E. Danes, R. Auras, J. Singh, Effect of recycled poly (ethylene terephthalate) content on properties of extruded poly (ethylene terephthalate) sheets, J. Plast. Film Sheeting. 27 (2011) 65-86.
- [28] I.A. Ignatyev, W. Thielemans, B. Vander Beke, Recycling of polymers: a review, ChemSusChem. 7 (2014) 1579-1593.
- [29] L. Incarnato, P. Scarfato, D. Acierno, M.R. Milana, R. Feliciani, Influence of recycling and contamination on structure and transport properties of polypropylene, J. Appl. Polym. Sci. 89 (2003) 1768-1778.
- [30] J. Hopewell, R. Dvorak, E. Kosior, Plastics recycling: challenges and opportunities, Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 364 (2009) 2115-2126.
- [31] K. Ragaert, L. Delva, K. Van Geem, Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, Waste Manag. 69 (2017) 24-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>.
- [32] D.S. Achilias, E. Antonakou, C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. Lappas, Recycling techniques of polyolefins from plastic wastes, Glob. NEST J. 10 (2008) 114-122.
- [33] Recycling of plastic and PVC windows | Deceuninck. <https://www.deceuninck.de/en-gb/recycling-of-plastic/>.
- [34] Plastic Europe, Plastic waste from B&C in EU 2018, 2018
- [35] Kunststofffenster-recycling in zahlen 2011, [https://www.glaswelt.de/sites/default/files/ulmer/de-gw/document/file\\_364820.pdf](https://www.glaswelt.de/sites/default/files/ulmer/de-gw/document/file_364820.pdf).
- [36] Resolución del Parlamento Europeo, de 12 de febrero de 2020, sobre el proyecto de Reglamento de la Comisión por el que se modifica, en lo que respecta al plomo y sus compuestos, el anexo XVII del Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH)
- [37] COM(2000) 469 final - Libro verde. Cuestiones medioambientales relacionadas con el PVC, Bruselas, 2000.
- [38] Recovynl. <https://www.recovynl.com/>
- [39] Rewindo. <https://rewindo.de/>
- [40] T. Seike, T. Isobe, Y. Harada, Y. Kim, M. Shimura, Analysis of the efficacy and feasibility of recycling PVC sashes in Japan, Resour. Conserv. Recycl. 131 (2018) 41-53.
- [41] M. Bigum, Final report Screening of EU and national policies, legislation and trends for EoL wooden doors and windows, 2018.
- [42] Fundación Ellen McArthur. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/diagrama-sistematico>



Publicado por:  
Asociación Española del Aluminio y Tratamientos de Superficie  
Príncipe de Vergara, 74  
28006 Madrid  
[www.asoc-aluminio.es](http://www.asoc-aluminio.es)

Estudio técnico y diseño:  
IDNÓVAM  
Ferranz 56, Bajo  
28008 Madrid  
[info@idnovam.com](mailto:info@idnovam.com)