

MATERIAL COMPUESTO PARA USO EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES
DE CARBONO

CAMPO TÉCNICO

5

La presente descripción se relaciona con gases de efecto invernadero y emisiones de carbono y con productos y métodos para reducirlos

10

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

Las referencias que se consideran pertinentes como antecedentes de la materia que se describe en la presente se detallan a continuación:

15

- Publicación de la solicitud de patente internacional núm. WO10082202

El reconocimiento de las referencias anteriores en este documento no debe inferirse en el sentido de que sean de alguna manera pertinentes para la patentabilidad de la materia de la presente descripción.

20

ANTECEDENTES

WO10082202 describe un material compuesto que tiene propiedades termoplásticas y que comprende materia orgánica y opcionalmente una o ambas de materia inorgánica

25

y materia plástica. Tal material compuesto puede prepararse a partir de desechos tales como desechos domésticos. Para la preparación del material compuesto, el desecho se seca y se particula. Después, se calienta el material de desecho seco y particulado, mientras se mezcla bajo fuerzas de cizallamiento. El material compuesto se procesa para obtener artículos útiles.

DESCRIPCIÓN GENERAL

10

De acuerdo con un primer aspecto de la materia descrita actualmente, se proporciona un material compuesto que comprende (i) al menos 40 % en peso de materia orgánica heterogénea de un peso total del material compuesto, dicha materia orgánica heterogénea comprende al menos celulosa (ii) una pluralidad de polímeros sintéticos y (iii) hasta 15 % en peso de materia inorgánica;

20

en donde dicho material compuesto comprende menos del 5 % en peso de tereftalato de polietileno PET del peso total del material compuesto; y en donde dicho compuesto tiene una huella de carbono menor que aproximadamente -10 kg CO₂ eq/kg como se determina de acuerdo con ISO14040: 2006.

El material compuesto se usa particularmente para reducir las emisiones de carbono. Por lo tanto, en el contexto de la presente descripción cuando se hace

referencia al material compuesto descrito actualmente, debe entenderse que se refiere al material compuesto per se, y aun, en algunos ejemplos, con preferencia a su uso previsto.

De acuerdo con un segundo aspecto de la materia
5 descrita actualmente se proporciona un artículo de fabricación que comprende una combinación de uno o más polímeros sintéticos termoplásticos y un material compuesto como se define en la presente descripción, el artículo de fabricación exhibe una huella de carbono menor que la huella
10 de carbono total de uno o más polímeros sintéticos.

Además, de acuerdo con un tercer aspecto de la materia descrita actualmente se proporciona un método para producir un artículo de fabricación, el método comprende formar un material fundido de uno o más polímeros sintéticos
15 y un material compuesto como se define en la presente descripción y dar forma al material fundido en un artículo de fabricación. Un método adicional se refiere a mezclar uno o más polímeros sintéticos, teniendo cada uno del uno o más polímeros sintéticos una huella de carbono
20 determinada de acuerdo con ISO14040: 2006; con un material compuesto como se define en la presente descripción; en donde dicho artículo de fabricación se caracteriza por una huella de carbono que es estadística y significativamente menor que la de dichos uno o más polímeros sintéticos.

25 Finalmente, se proporciona, de acuerdo con un cuarto aspecto de la materia descrita actualmente, un

método para reducir las emisiones de carbono involucradas con la fabricación de un artículo de fabricación que comprende uno o más polímeros sintéticos, el método comprende fabricar dicho artículo de fabricación con una
5 mezcla de dicho uno o más polímeros sintéticos y un material compuesto que comprende (i) al menos 40 % en peso de materia orgánica heterogénea de un peso total del material compuesto, dicha materia orgánica heterogénea comprende al menos celulosa (ii) una pluralidad de polímeros sintéticos
10 y (iii) hasta 15 % en peso de materia inorgánica;

en donde dicho material compuesto comprende menos del 5 % en peso de tereftalato de polietileno PET del peso total del material compuesto; y
en donde dicho compuesto tiene una huella de
15 carbono menor que aproximadamente $-10 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$ como se determina de acuerdo con ISO14040: 2006.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20

Para comprender mejor la materia que se describe en la presente descripción y para ejemplificar cómo puede llevarse a cabo en la práctica, a continuación se describirán modalidades, exclusivamente como ejemplos no limitantes, con
25 referencia a los dibujos adjuntos, en las que:

La **Figura 1** proporciona la ecuación para el método de desintegración de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés) para calcular las emisiones evitadas, incluidos los siguientes parámetros: factor de corrección del modelo

5 (“10”), fracción de metano capturada en el sitio de eliminación de desechos sólidos (SWDS, por sus siglas en inglés) (“20”), impacto potencial del calentamiento global por metano (“30”), factor de oxidación (“40”), conversión de carbono en metano (“50”), fracción de metano en SWDS (“60”),

10 fracción de carbono orgánico degradable que puede descomponerse (“70”), factor de corrección de metano (“80”), diferenciación de horizontes temporales (“90”), diferenciación de tipos de desechos (“100”), cantidad de desechos sólidos (SW, por sus siglas en inglés) tipo j que

15 se evita eliminar en un SWDS (“110”), fracción de carbono orgánico degradable en el tipo de desecho (“120”), tasa de desintegración por el tipo de desecho (“130”), horizonte temporal en revisión (“140”).

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La producción de materiales compuestos utilizables a partir de desechos heterogéneos se enfrenta a numerosos retos. Sin embargo, la cantidad de desechos que se generan cada día en todo el mundo exige la creación de nuevos materiales útiles a partir de ellos. Como tal, la gestión de los desechos orgánicos y, en particular, de los desechos alimentarios debe figurar entre las principales prioridades de los gobiernos locales, regionales, nacionales e internacionales.

La materia descrita actualmente se basa en el desarrollo de un material compuesto que tiene una huella de carbono negativa y, por lo tanto, se puede usar como “diluyente” de polímeros sintéticos (plásticos) que tienen una huella de carbono positiva y, por lo tanto, se consideran desfavorables para el medio ambiente y para el efecto invernadero.

Específicamente, y de acuerdo con su aspecto más amplio, la materia descrita actualmente proporciona un material compuesto, preferentemente para usar en la reducción de las emisiones de carbono (p. ej., para usar en la reducción de emisiones de carbono de efecto invernadero).

El material compuesto descrito en la presente descripción comprende (i) al menos 40 % en peso de materia orgánica heterogénea no plástica de un peso total del

material compuesto, dicha materia orgánica heterogénea comprende al menos celulosa (ii) una pluralidad de polímeros sintéticos y (iii) hasta 15 % en peso de materia inorgánica;

5 en donde el material compuesto comprende menos del 5 % en peso de tereftalato de polietileno PET, preferentemente menos del 4 % en peso o incluso igual o menos del 3 % en peso, fuera del peso total del material compuesto; y

10 en donde el compuesto tiene una huella de carbono menor que aproximadamente -10 kg CO₂ eq/kg como se determina de acuerdo con ISO14040: 2006.

En el contexto de la presente descripción, cuando se refiere a un “*material compuesto*” debe entenderse como una mezcla esencialmente distribuida uniformemente de dos o más

15 materiales constituyentes que son diferentes en sus propiedades químicas y/o físicas, y que aun así se fusionan/combinan para crear un material cuyas propiedades son diferentes de los materiales individuales que lo forman.

El material compuesto descrito actualmente

20 comprende materia orgánica heterogénea no plástica/no sintética.

Cuando se hace referencia a materia orgánica heterogénea (no plástica/no sintética), debe entenderse que comprende una mezcla de diferentes materias derivadas de

25 la naturaleza, que pueden proceder de desechos vegetales,

desechos de productos derivados de plantas, restos animales, desechos de alimentos de origen animal, etc.

En algunos ejemplos, la materia orgánica comprende una mezcla heterogénea de material a base de celulosa. Esto
5 incluye cualquier combinación de biomasa de lignocelulosa, celulosa, lignina y/o hemicelulosa y cualquier derivado o formas modificadas de estos. En lo siguiente, el término “celulosa” se refiere colectivamente a una cualquiera o una combinación de lignocelulosa, celulosa, lignina y
10 hemicelulosa y derivados o modificaciones de estas.

El contenido de celulosa se puede determinar mediante TG-DSC realizado de acuerdo con ISO11358 (pérdida de peso >5 %), en las condiciones descritas a continuación.

En algunos ejemplos de la materia descrita
15 actualmente, la cantidad de materia orgánica heterogénea no plástica dentro del material compuesto se determina de acuerdo con ISO11358 para ser de al menos 40 % en peso; a veces, al menos 45 % en peso; a veces, al menos 50 % en peso; a veces, al menos 55 % en peso; a veces, al menos
20 60 % en peso; a veces, al menos 65 % en peso; a veces, al menos 70 % en peso; a veces, al menos 75 % en peso; a veces, al menos 80 % en peso; a veces, al menos 85 % en peso; a veces, al menos 90 % en peso.

El material compuesto de la materia descrita
25 actualmente también se puede caracterizar por la presencia de materia de ADN (como parte de la materia orgánica)

detectada usando una solución de cloroformo:alcohol isoamílico (24:1) (CTAB) en un protocolo de extracción de ADN convencional, tal el descrito por Yi, S., Jin, W., Yuan, Y. and Fang, Y. (2018). Un método de CTAB optimizado para la
5 extracción de ADN genómico de recién recogido Pinnae de Fern, *Aditulus-venerímica* L. *Bio-protocolo* 8(13): e2906. DOI: [10.21769/BioProtoc.2906](https://doi.org/10.21769/BioProtoc.2906) (ver también los ejemplos, que forman una parte integral de la presente descripción).

En algunos ejemplos de la materia descrita
10 actualmente, la cantidad de ADN dentro del material compuesto es al menos 0,1 mg/g; a veces, al menos 0,5 mg/g; a veces, al menos 1 mg/g; a veces, al menos 2 mg/g; a veces, al menos 3 mg/g; a veces, al menos 4 mg/g; a veces, al menos
5 mg/g; a veces, al menos 6 mg/g; a veces, al menos 7 mg/g;
15 a veces, al menos 8 mg/g; a veces, al menos 9 mg/g; a veces, al menos 10 mg/g; a veces, al menos 11 mg/g; a veces, al menos 12 mg/g; a veces, al menos 13 mg/g; a veces, al menos 14 mg/g; a veces, al menos 15 mg/g.

En algunos ejemplos de la materia descrita
20 actualmente, particularmente cuando el material compuesto es esencialmente libre de plástico (como se describe en la presente descripción a continuación), la cantidad de ADN es de al menos 10 mg/g, o incluso al menos 15 mg/g.

El material compuesto de la materia descrita
25 actualmente también se puede caracterizar por la presencia

de clorofila (también parte de la materia orgánica), como se detecta usando protocolos convencionales.

En algunos ejemplos, el contenido de clorofila se determina añadiendo a una muestra del material compuesto de la materia descrita actualmente 1 ml de dimetilformamida (DMF, en tubos de 1,5 ml). Los tubos se incubaron durante la noche a 4 °C para permitir que la clorofila se disuelva en la solución de DMF. Se mezcla una solución de muestra (300 µl) con 600 µl de DMF en un tubo Eppendorf nuevo (2 volúmenes de DMF por volumen de muestra). La absorbancia (A) se tomó en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 647 nm y 664,5 nm usando una cubeta de cuarzo. El contenido de clorofila se calcula usando las relaciones:

El contenido de clorofila a (µg/ml) = $(12 \times A_{664,5}) - (2,79 \times A_{647})$

El contenido de clorofila b (µg/ml) = $(20,78 \times A_{647}) - (4,88 \times A_{664,5})$

En algunos ejemplos, la cantidad de clorofila en el material compuesto de la materia descrita actualmente es al menos 95 µg/g.

En algunos ejemplos, el material compuesto descrito actualmente es esencialmente libre de sintéticos, es decir, comprende hasta un 10 % en peso de polímeros sintéticos (plásticos sintéticos). Tal material compuesto se denomina en la presente descripción, a veces, “*compuesto orgánico*”

En algunos ejemplos, la materia descrita actualmente comprende más de 10 % en peso de polímeros sintéticos. Debe entenderse que los términos “*polímeros sintéticos*” o, más brevemente, “*plásticos sintéticos*” se
5 refiere a una mezcla de plásticos presentes típicamente en desechos domésticos y/o industriales, pero también a cualquier otro plástico sintético conocido en la técnica.

De acuerdo con algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el *compuesto orgánico* es un material
10 compuesto de la materia descrita actualmente que comprende menos de 9 % en peso de polímeros sintéticos, a veces, menos de 8 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 7 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 6 % en peso de polímeros sintéticos; a veces,
15 menos de 5 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 4 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 3 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 2 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, menos de 1 % en peso de polímeros sintéticos; a veces, no
20 hay cantidad detectable de polímeros sintéticos.

En algunos ejemplos, el material compuesto orgánico descrito actualmente comprende como máximo un 3 % en peso de polímeros sintéticos.

En algunos ejemplos, el material compuesto
25 descrito actualmente no tiene cantidades detectables de polímeros sintéticos, cuando se examina usando las

condiciones de análisis TG-DSC descritas en la presente descripción (TG-DSC realizado de acuerdo con ISO11358 (pérdida de peso >5 %), en las condiciones descritas a continuación).

5 En algunos ejemplos alternativos, el material compuesto comprende más de 10 % en peso de polímeros sintéticos aun en una cantidad de entre 10 % en peso y 40 % en peso de un peso total del material compuesto. El material compuesto descrito en la presente descripción que
10 comprende más de 10 % en peso de polímeros sintéticos pero hasta 40 % en peso se denomina en la presente descripción por los términos “*compuesto sin plástico*”.

 En la descripción anterior y a continuación de la materia descrita actualmente, el término “*material*
15 *compuesto*” se refiere colectivamente al *compuesto orgánico* y al *compuesto sin plástico*, así como otros tipos de material compuesto que caen dentro del alcance de la materia descrita actualmente.

 En algunos ejemplos de la materia descrita
20 actualmente, el material compuesto *sin plástico* comprende polímeros sintéticos en una cantidad de hasta 35 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta 30 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta 25 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta 20 % en peso; a veces, en una cantidad
25 de hasta 15 % en peso; a veces, en una cantidad de entre 10 % en peso y 135 % en peso; a veces, en una cantidad de

entre 10 % en peso y 30 % en peso; a veces, en una cantidad de entre 10 % en peso y 20 % en peso.

Los polímeros sintéticos presentes en el material compuesto descrito actualmente (ya sea orgánico o sin plástico) pueden incluir una o más poliolefinas. Al referirse a las poliolefinas, incluye, sin limitarse a, polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés), polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés), polipropileno (PP, por sus siglas en inglés) y cualquier combinación de los mismos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen uno o más poliacrilonitrilos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen uno o más polibutadienos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen uno o más policarbonatos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen una o más poliamidas (PA, por sus siglas en inglés).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen uno o más copolímeros de etileno y alcohol vinílico (EVOH, por sus siglas en inglés).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, los polímeros sintéticos incluyen uno o más poliuretanos (PU, por sus siglas en inglés).

En el contexto de la presente descripción, cuando
5 los polímeros sintéticos incluyen PET, la cantidad de este es menor del 5 % en peso del peso total del material compuesto, o incluso menor del 4 % en peso, o incluso menor del 3 % en peso, o incluso menor del 2 % en peso, o incluso menor del 1 % en peso, como se analizó adicionalmente en
10 la presente descripción y a continuación.

En algunos ejemplos, los polímeros sintéticos incluyen uno o más termoestables, p. ej., caucho vulcanizado, polímeros termoplásticos vulcanizados (TPV, por sus siglas en inglés) y/o poliuretanos (PU).

15 Debe entenderse que cuando se hace referencia en la presente descripción a “*menor que*” significa una cantidad definida, pero también una cantidad no detectable, como se determina por el método de medición apropiado relevante para el componente bajo análisis. Por ejemplo, si el término
20 se refiere a polímeros sintéticos, una cantidad de menos del 5 % en peso significa también una cantidad no detectable como se determina usando el análisis TG-DSC realizado de acuerdo con ISO11358 (pérdida de peso >5 %).

En algunos ejemplos de la materia descrita
25 actualmente, el material compuesto comprende también inorgánicos. La cantidad de materia inorgánica, si está

presente en el material compuesto, se puede determinar usando el análisis TG-DSC en las condiciones conocidas en la técnica, espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, por sus siglas en inglés) o como se describe en la presente descripción (p. ej., en la sección de Ejemplos).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la materia inorgánica presente en el material compuesto está en una cantidad de hasta aproximadamente 15 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta aproximadamente 10 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta 5 % en peso; a veces, en una cantidad de hasta aproximadamente 4 % en peso, 3 % en peso, 2 % en peso o incluso hasta 1 % en peso del peso total del material compuesto, como se determina usando el análisis TG-DSC o espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP - AES).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la cantidad de materia inorgánica puede estar dentro de cualquier rango entre los límites inferior y superior mencionados anteriormente. Por ejemplo, la materia inorgánica puede estar en cualquier rango dentro del rango de entre aproximadamente 1 % y 15 % en peso, p. ej., entre aproximadamente 5 % y 10 % en peso, o entre aproximadamente 1 % y 10 % en peso, o entre aproximadamente 3 % y 8 % en peso, etc.

En algunos ejemplos, la materia inorgánica dentro del material compuesto de la materia descrita actualmente se refiere al material que típicamente existe en desechos municipales, domésticos y/o industriales. Esto
5 incluye, sin limitarse a ello, arena, piedras, vidrio, cerámica y otros minerales, así como metales, incluidos, p. ej. aluminio, hierro, cobre.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la materia inorgánica comprende silicatos.
10 Cuando el sílice está presente, la cantidad de este es como máximo de 10 mg/g. En algunos ejemplos, la cantidad de sílice en el material compuesto es como máximo 7 mg/g, en veces como máximo 6 mg/g, a veces como máximo 5 mg/g, a veces como máximo 4 mg/g, en veces como máximo 3 mg/g,
15 a veces como máximo 2 mg/g, en veces como máximo 1 mg/g.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la cantidad de silicatos, así como otros elementos inorgánicos, se puede determinar usando plasma de argón, en una tecnología de espectroscopía de emisión
20 atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP - AES), cuyos detalles se proporcionan en la presente descripción a continuación en los Ejemplos, que forman una parte integral de la presente descripción, en una cantidad que se analiza con más detalle a continuación.

25 El material compuesto se caracteriza por una huella de carbono menor que aproximadamente -10 kg CO₂ eq/kg

como se determina de acuerdo con la evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) de ISO14040: 2006.

En el contexto de la materia descrita actualmente, los términos “*huella de carbono*” se usan para denotar la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) o CO₂ equivalente emitido por el material compuesto.

En el contexto de la materia descrita actualmente, los términos “*compensación de carbono*” se usan para denotar una acción o proceso de compensación de las emisiones de dióxido de carbono mediante reducciones equivalentes de dióxido de carbono en la atmósfera.

En el contexto de la materia descrita actualmente, la determinación de la huella de carbono hace uso de la Herramienta metodológica 4 del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas (V. 8.0, cuyos detalles se encuentran en <https://cdm.unfccc.int/Reference/tools/index.html>) y la metodología consolidada para procesos alternativos de tratamiento de desechos (ACM0022, cuyos detalles se encuentran en <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/YINQ0W7SUYOO2S6GU8E5DYVP2ZC2N3>). Notablemente, el mecanismo CDM es aplicable en todos los mercados, incluidos los de la Unión Europea, Reino Unido, Estados Unidos e Israel.

La herramienta 4 se refiere a emisiones de sitios de eliminación de desechos sólidos (SWDS). El escenario de

referencia asumido (a falta de emplear una instalación de gestión/reciclado de desechos) es la eliminación de desechos sólidos municipales (MSW, por sus siglas en inglés) en un relleno sanitario parcialmente gestionado.

5 Los rellenos sanitarios crean condiciones anaeróbicas, bajo las cuales los desechos orgánicos producen metano cuando se descompone. Como se aprecia, el metano es un gas de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés) muy potente con un potencial de calentamiento global (GWP, por

10 sus siglas en inglés) 86 veces mayor al del dióxido de carbono (CO_2) si se considera un horizonte temporal de 20 años (GWP_{20}), o 34 veces mayor en un horizonte de tiempo de 100 años (GWP_{100}) (ver en esta conexión también https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf, pág. 714, Tabla 8.7). El material

15 compuesto descrito aquí proporciona una solución para una necesidad eminente desviando los desechos orgánicos, entre otros, de los rellenos sanitarios y convirtiéndolos en un producto que evita esta generación de metano.

20 En el contexto de la materia descrita actualmente, la determinación de emisiones evitadas se puede determinar mediante el método de desintegración de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés), que incluye los siguientes parámetros:

- 25
- Fracción de metano en el gas del SWDS
 - Fracción de metano capturado en el SWDS

- Cantidad de metano oxidado por la cubierta del SWDS
- Factor de corrección de metano
- Factor de corrección del modelo para tener en cuenta las incertidumbres del modelo
- Cantidad de cada tipo de desecho tratado
- Fracción de carbono orgánico degradable (DOC, por sus siglas en inglés)
- Tasa de desintegración de cada tipo de desecho

La ecuación de FOD se proporciona en la Figura 1. Los valores centrales usados para los parámetros de FOD se muestran en las Tablas 1A y 1B.

Tabla 1A: Supuestos para parámetros del modelo

Parámetro	Descripción	Valor Central
ϕ	Factor de corrección del modelo para tener en cuenta las incertidumbres del modelo	1,00
f	Fracción de metano capturado en el SWDS	0,00
OX	Factor de oxidación	0,00
F	Fracción de metano en el gas del SWDS	0,55
DOC_f	Fracción de carbono orgánico degradable (DOC) que puede descomponerse después de 100 años en un relleno sanitario	0,68*
MCF	Factor de corrección de metano	0,9

* Para el cálculo se usa el promedio ponderado del DOC_f específico del componente de los MSW en el escenario de referencia

Tabla 1B: Valores predeterminados de 2006 IPCC para
carbono orgánico degradable (DOC) y tasa de
desintegración (k) por tipo de desecho

	Componentes de MSW					
	Desechos alimentarios	Plástico	Cartón	Papel	Pañales	Desechos del jardín
DOC_j (%) en desechos secos*	45 %	0 %	44 %	44 %	30 %	55 %
Velocidad de desintegración (k)**	10 %	0 %	6 %	6 %	10 %	8 %

5 * Los valores DOC_j se adaptan a partir de los valores predeterminados para diferentes tipos de desechos proporcionados en las directrices de 2006 IPCC para los Inventarios nacionales de GHG

 ** Los valores son valores predeterminados de las directrices de 2006 IPCC para los Inventarios nacionales de GHG.

10

Al considerar la determinación de la huella de carbono, se debe tener en cuenta la siguiente definición de términos:

15 **Descomposición anaeróbica** - descomposición en ausencia de oxígeno. Los desechos orgánicos producen CO₂ cuando se descomponen en presencia de oxígeno, pero el GHG más potente es el metano en condiciones anaeróbicas (<https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>).

20 **Escenario de referencia** - la situación que ocurriría en ausencia de un proyecto o actividad propuesta (también conocida como “sin cambios”, https://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/glos_CDM.pdf).

25 **Dióxido de carbono (CO₂)** - el gas de efecto invernadero (GHG) más abundante en la tierra. El dióxido de

carbono se produce naturalmente pero también se libera por muchas actividades humanas, incluidos el transporte, la generación de energía y los procesos industriales. Medido en partes por millón (ppm)

5 (<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#carbon-dioxide>).

Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) - medida usada para expresar el potencial de calentamiento global (GWP) de otros GHG, así como la huella de carbono de procesos, actividades o productos, en términos de CO₂

10 (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Carbon_dioxide_equivalent)

Huella de carbono - una evaluación del ciclo de vida (LCA) centrada únicamente en la categoría de impacto sobre el cambio climático para medir las emisiones de carbono causadas durante la vida útil de un producto o por las actividades de una organización (la norma ISO correspondiente es 14067, (<https://www.iso.org/standard/71206.html>))

15

Carbono negativo - un producto, proceso u organización de carbono negativo debe aislar o evitar más emisiones de carbono de las que genera. Como se analiza a continuación, el material compuesto descrito en la presente descripción es un producto carbono negativo (también conocido como “clima-positivo”) (<https://www.vox.com/the-goods/2020/3/5/21155020/companies-carbon-neutral-climate-positive>).

20

25

Clima positivo - un producto, proceso u organización de clima positivo debe aislar o evitar más emisiones de carbono de las que genera. Como se detalla en la presente descripción, el material compuesto descrito en la presente descripción es un producto de clima positivo (también conocido como “carbono negativo”).

Mecanismo de desarrollo limpio (CDM) - una metodología definida en el Protocolo de Kyoto para proyectos que reducen las emisiones de GHG y generan unidades de reducción de emisiones certificada (CER, siglas en inglés), que pueden comercializarse en esquemas de comercio de emisiones (<https://cdm.unfccc.int/>). Como se describió adicionalmente en la presente descripción y a continuación, esta metodología de CDM puede utilizarse y se utilizó para calcular las emisiones evitadas para la evaluación del ciclo de vida (LCA) del material compuesto descrito en la presente descripción.

De cuna a puerta de fábrica (Cradle-to-gate) - una LCA de cuna a puerta de fábrica considera las emisiones de carbono desde la etapa de extracción hasta el proceso de producción, hasta que el producto abandona el fabricante o la puerta de la fábrica. Incluye el transporte hasta la fábrica, pero no hasta el cliente (<https://circularecology.com/glossary-of-terms-and-definitions.html#.X-Ir1C-ZPOQ>).

Fin de vida (EOL, por sus siglas en inglés) - se refiere a la etapa de eliminación del ciclo de vida de un producto. Entre las opciones más comunes de EOL se encuentran el vertido, el reciclado químico y mecánico, el compostaje y la incineración (<https://www.wur.nl/en/article/Waste-stage-end-of-life-options-1.htm>).

Gas de efecto invernadero (GHG) - un gas que tiene el potencial de capturar calor al evitar que la radiación salga de la atmósfera de la tierra, lo que causa el efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el vapor de agua son los GHG más importantes, junto con el ozono a nivel de superficie, los óxidos nitrosos y los gases fluorados en menor medida (<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>).

Potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) - la capacidad de un GHG para atrapar la radiación y provocar calentamiento. El GWP de todos los GHG se basa en el de CO₂ y expresado como CO₂ CO₂eq. Debido a que diferentes gases tienen diferente vida útil, el GWP de un gas depende de la cantidad de tiempo analizado. Un gas con una vida útil corta con relación al CO₂ tendrá un GWP mayor con un horizonte temporal más corto, ya que el efecto comenzará a disminuir una vez que el gas se descomponga en la atmósfera.

(https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf).

GWP₂₀ - el GWP en un horizonte de tiempo de 20 años, donde el metano es 86 veces más potente que el CO₂
5 (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf).

GWP₁₀₀ - el GWP en un horizonte de tiempo de 100 años, donde el metano es 34 veces más potente que el CO₂
(https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf).
10

Protocolo de Kyoto - un acuerdo adoptado en 1997 y que entró en vigor en 2005 que establece objetivos vinculantes de reducción de emisiones. Establecimiento de mecanismos de mercado flexibles, tal como el CDM, basados
15 en el comercio de permisos de emisión.

Evaluación del ciclo de vida (LCA) - análisis cuantitativo del impacto ambiental de un producto, proceso u organización. Las categorías de impacto (p. ej., emisiones de carbono o uso del agua) y los límites del sistema (p. ej., de la cuna a la puerta) pueden variar en función del
20 objetivo de la evaluación, pero deben indicarse de manera transparente. Las normas ISO relevantes son 14040 y 14044 (<https://pre-sustainability.com/legacy/download/Life-Cycle-Based-Sustainability-Standards-Guidelines.pdf>).

Límites del sistema - describen hasta qué punto
25 las actividades asociadas a un producto, proceso u

organización se tienen en cuenta en una LCA. Los límites pueden tener en cuenta las etapas de producción, las zonas geográficas y los periodos de tiempo (https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ECOIL_Life_Cycle.pdf).

Basándose en lo anterior, se ha determinado que el material compuesto descrito actualmente tiene una huella de carbono no superior a $-10 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$, a veces, no superior a $-11 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-12 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-13 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-14 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-15 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-16 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-17 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$. En algunos ejemplos, el material compuesto tiene una huella de carbono no mayor que $-18 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg}$.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, cuando el material compuesto es el *compuesto orgánico*, es decir, que comprende hasta 10 % en peso de plásticos o incluso esencialmente libre de plásticos, la

huella de carbono de este no es más de 11 kg CO₂ eq/kg; a veces, no más de -15 kg CO₂ eq/kg; a veces, no más de -18 kg CO₂ eq/kg.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, cuando el material compuesto es un *compuesto sin plástico*, es decir, comprende entre 10 % en peso y 40 % en peso de plásticos, y la huella de carbono de este no es más de -10 kg CO₂ eq/kg; a veces, no más de -11 kg CO₂ eq/kg; a veces, no más de -11,5 kg CO₂ eq/kg

El material compuesto se puede combinar con polímeros sintéticos añadidos externamente, p. ej., plásticos puros, como se describe a continuación. Notablemente, en los casos en que el material compuesto se combina con polímero plástico virgen, como polipropileno (PP) o ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés), el material compuesto reduce significativamente la huella de carbono del polímero sintético por debajo de la huella de carbono del polímero sintético en ausencia del material compuesto descrito actualmente. Esto es evidente a partir de los ejemplos no limitantes presentados en las **Tablas 3A y 4**, que muestran la huella de carbono del material compuesto orgánico (esencialmente libre de plástico). Además, la **Tabla 4** muestra que cuando el material compuesto orgánico/sin plástico se mezcló con un 70 % de polímero sintético, tal como PP o PLA, la huella de carbono de estos dos polímeros

se redujo de 2,7 kg CO₂ eq/kg a -3,3 kg CO₂ eq/kg, y de 3,8 kg CO₂ eq/kg a -2,6 kg CO₂ eq/kg, respectivamente.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el material compuesto tiene una temperatura de inicio de pérdida de peso en una curva de análisis termogravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés) no mayor de 220 °C. Cuando el material compuesto es esencialmente libre de plástico, la temperatura de inicio de pérdida de peso no es mayor que 180 °C.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el material compuesto se puede caracterizar por sus propiedades físicas en una muestra de este que se ha sometido a moldeo por inyección con 70 % en peso de polipropileno (PP).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un módulo de tracción (de acuerdo con ISO-527-2) de al menos 1000 MPa; a veces, de al menos 1100 MPa; a veces, de al menos 1200 MPa. En algunos ejemplos, el módulo de tracción está dentro de un rango de 1000 MPa y 1400 MPa.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un a la tracción en el límite elástico (de acuerdo con ISO-527-2) de al menos 12 MPa; a veces, de al menos 13 MPa; a veces, al menos 13,5 MPa.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por una deformación a la tracción en el límite elástico (de acuerdo con ISO-527-2) de al menos 2,2 %; a veces, de al menos 2,3 %; a veces, de al menos 2,4 %; a veces, de al menos 2,5 %; a veces, de al menos 2,6 %; a veces, de al menos 2,7 %; a veces, de al menos 2,8 %. En algunos ejemplos, la deformación a la tracción en el límite elástico está en un rango de 2,2 % y 2,85 %.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por una deformación por tracción en la rotura (alargamiento total, de acuerdo con ISO-527-2) de al menos 3,2 %; a veces, de al menos 3,3 %; a veces, de al menos 3,4 %; a veces, de al menos 3,5 %; a veces, de al menos 3,6 %; a veces, de al menos 3,7 %.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un impacto Izod con muesca (resistencia al impacto, de acuerdo con ISO-180) de al menos 2,8 kJ/m²; a veces, de al menos 2,9 kJ/m²; a veces, de al menos 3,0 kJ/m²; a veces, de al menos 3,1 kJ/m².

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un módulo de flexión (de acuerdo con ISO-178) de al menos 1000 MPa o a veces de al menos 1100 MPa.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un esfuerzo de flexión (de acuerdo con ISO-178) de al menos 15 MPa; de al menos 20 MPa; a veces, 5 de al menos 21 MPa; a veces, de al menos 22 MPa; a veces, de al menos 23 MPa; a veces, de al menos 24 MPa.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por una densidad (de acuerdo con ISO-1183) de 10 aproximadamente 0,97 g/cm³ o 0,98 g/cm³.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la muestra de moldeo por inyección se caracteriza por un índice de flujo de fusión (MFI, por sus siglas en inglés) de 230 °C/2,16 kg (g/10 min, de acuerdo 15 con ISO1130) mayor que 25 g/10 min.

El material compuesto se prepara mediante un método que hace uso de un material de entrada heterogéneo. En el contexto de la presente descripción, los términos “*material de entrada*” deben entenderse como referencia a la materia de 20 desecho, típicamente derivada de desechos de casa/domésticos que comprenden al menos un 40 % de materia orgánica.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el material de entrada se deriva de desechos heterogéneos en bruto. En el contexto de la presente 25 descripción, cuando se refiere a “*desechos heterogéneos en bruto*” debe entenderse como material que comprende una

combinación de una mezcla heterogénea de polímeros sintéticos (plásticos) y materia orgánica no sintética/no plástica que incluye al menos celulosa y materia inorgánica.

En algunos ejemplos de la materia descrita
5 actualmente, el desecho heterogéneo en bruto se obtiene de desechos municipales, industriales y/o domésticos y se refiere a tal material de desecho heterogéneo sin clasificar, es decir, sin estar sometido a ningún proceso de clasificación industrial sustancial. En algunos
10 ejemplos, el desecho heterogéneo en bruto es una combinación de diferentes sustancias orgánicas que pueden originarse del material animal, material vegetal, etc.

En algunos ejemplos de la materia descrita
actualmente, el material de desecho heterogéneo en bruto
15 se somete a un proceso de preclasificación donde se eliminan grandes elementos de desecho no deseados. Por ejemplo, los desechos sin procesar pueden clasificarse previamente para eliminar uno cualquiera de los metales, vasos y minerales grandes. La preclasificación se puede
20 realizar manualmente, p. ej. al transportar las materias primas en una cinta transportadora e identificar los artículos de desecho grandes no deseados.

Además, o alternativamente, la preclasificación comprende la separación usando fuerzas magnéticas (separación
25 basada en imán), típicamente para la separación y eliminación de metales ferrosos. En ocasiones, la separación basada en

imanes se usa para la separación y eliminación de metales y aleaciones magnéticos, y en ocasiones para la separación y eliminación de materiales ferromagnéticos.

Además, o alternativamente, la preclasificación
5 comprende la separación mediante un separador de corrientes de Foucault, normalmente para la eliminación de metales no ferrosos.

Las desechos en bruto que se sometieron a un(os) proceso(s) de preclasificación comprende(n) una pluralidad
10 de materia plástica heterogénea, materia orgánica no plástica e inorgánicos. Este desecho clasificado se denomina desecho heterogéneo libre de metal.

Después, el desecho heterogéneo libre de metal puede someterse a varias etapas de secado y clasificación,
15 para obtener el material de entrada.

En el contexto de la materia descrita actualmente, cuando se hace referencia al secado se debe entender que elimina una porción del agua del material de desecho heterogéneo. El secado no debe interpretarse como
20 eliminar todo el agua de los residuos. En algunos ejemplos, los desechos sin procesar comprenden aproximadamente 30 % a 40 % p/p de agua y el secado implica la eliminación de al menos 50 % del contenido de agua; a veces, al menos 60 % de contenido de agua; a veces, al menos 70 % de
25 contenido de agua; a veces, al menos 80 % de contenido de agua; a veces al menos 90 % de contenido de agua; a veces

al menos 95 % de contenido de agua. El material de desecho resultante se puede considerar como *material de desecho seco*. El material de desecho seco normalmente comprende menos del 10 % en peso de agua (humedad).

5 En algunos ejemplos, el material de desecho seco y, en consecuencia, el material de entrada comprende menos de 10 % en peso de agua; a veces, menos de 9 % en peso de agua; a veces, menos de 8 % en peso de agua; a veces, menos de 7 % en peso de agua; a veces, menos de 6 % en peso de
10 agua; a veces, menos de 5 % en peso de agua; a veces, menos de 4 % en peso de agua; a veces, menos de 3 % en peso de agua; a veces, menos de 2 % en peso de agua.

El secado se puede lograr mediante cualquier medio conocido en la técnica.

15 En algunos ejemplos, el secado se logra colocando los desechos heterogéneos al aire libre y dejándolos secar. En algunos otros ejemplos, el secado se logra colocando los residuos en una corriente de aire seco y/o en una cámara del horno y/o presionando el líquido hacia afuera.

20 En el proceso de secado, se elimina agua y a veces algunos líquidos volátiles. Esto puede incluir líquidos que tienen una presión de vapor de al menos 15 mmHg a 20 °C, p. ej., etanol.

En algunos ejemplos de la materia descrita
25 actualmente, el secado se logra mediante un proceso de biosecado utilizando bacterias inherentemente presentes en

los desechos. Para este propósito, el material de desecho se coloca típicamente en un entorno controlado por temperatura. En algunos ejemplos, el secado biológico se realiza a una temperatura mantenida alrededor de 70 °C.

5 En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, se añaden bacterias al material de desecho heterogéneo (p. ej., al material de desecho preclasificado) para inducir o mejorar el proceso de biosecado.

 Sin desear limitarse a la teoría, se cree que el
10 contenido residual de agua restante desempeña un papel en el proceso químico que se produce y que convierte el material de desecho seco/sin agua en el material compuesto de la presente descripción.

 En algunos ejemplos de la materia descrita
15 actualmente, el desecho sin agua se somete después a una reducción de tamaño para obtener material de desecho particulado.

 En el contexto de la presente descripción, debe entender que el término “*particulado*” o “*particulación*”
20 comprende cualquier proceso o combinación de procesos que dan como resultado la reducción del tamaño del material de desecho. La *particulación/reducción* de tamaño puede realizarse mediante una cualquiera o una combinación de granulación, trituración, picado, corte en dados, corte,
25 aplastamiento, desmenuzamiento, molienda, etc.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la reducción de tamaño comprende triturar los desechos (secos o no secos, aun preferentemente secos) hasta obtener partículas de un tamaño medio menor que
5 40 mm, a veces menor que 30 mm; a veces menor que 20 mm; a veces menor que 10 mm.

A veces, debido a la fricción dentro de una trituradora, la reducción de tamaño puede dar lugar a una mayor reducción de la humedad (p. ej., por un 2 %-3 %
10 adicional).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el procesamiento del material de desecho comprende dos o más etapas de secado. En algunos ejemplos, tiene lugar una primera etapa de secado después de la
15 eliminación del metal y una segunda etapa de secado después de la reducción del tamaño de los desechos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el desecho particulado se somete después a un proceso de limpieza donde se eliminan las partículas
20 metálicas y/o minerales remanentes ("impurezas" que no se han eliminado antes de la etapa de reducción de tamaño) (aquellas que quedan después del primer proceso de eliminación de metal).

En algunos ejemplos de la materia descrita
25 actualmente, las impurezas remanentes se eliminan al someter la materia particulada a un sistema separador de

aire donde se eliminan las partículas pesadas (p. ej., partículas metálicas y/o minerales) mediante la gravedad, mientras que una fracción de desechos ligeros se recolecta y/o se transporta a la siguiente etapa del proceso.

5 La fracción ligera resultante comprende, como máximo, una pequeña cantidad de metal y minerales. Sin limitarse a estos, se cree que la fracción comprende como máximo 1 % p/p de metales (ferroso y no ferroso) y como máximo 5 % de minerales.

10 Después, la fracción ligera resultante se somete a la(s) etapa(s) de eliminación sintética usando infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés). La separación basada en NIR permite la clasificación óptica de los materiales plásticos no deseados de otros residuos plásticos basado en
15 el tipo de polímero (con base en las firmas de longitud de onda de reposición). Como apreciarán los expertos en la tecnología NIR, el sistema de separación basado en NIR se programa para poder identificar diferentes tipos de sustancias, incluidos muchos polímeros y otros compuestos
20 químicos. El operador del sistema define los compuestos que se mantendrán y los que se eliminarán. Más específicamente, la etapa de separación de NIR hace uso de sistemas que están equipados con algoritmos para cada sustancia que se va a eliminar, incluidos polímeros incompatibles con
25 poliolefinas, tales como polímeros que tienen un punto de fusión mayor que 200 °C o incluso mayor que 210 °C; y/o

polímeros halogenados y/o compuestos orgánicos que contienen arilo y opcionalmente otros polímeros, según se desee. Este algoritmo permite la identificación y separación de cada compuesto en consecuencia. A este respecto, los versados en la técnica apreciarán que cada entidad química tiene un espectro IR complicado que es la identificación de la “huella digital” de la entidad química. Esta huella dactilar se puede encontrar en cualquier “atlas químico” disponible públicamente y se reconoce por programas informáticos.

Además, se ha descubierto que usando la separación basada en NIR es posible eliminar muchos más polímeros sintéticos que los que se eliminan manualmente. Por lo tanto, la separación basada en NIR no solo proporciona la posibilidad de eliminar plásticos selectivamente, sino que también, cuantitativamente, es posible alcanzar niveles de polímero sintético por debajo del 5 % en peso o incluso por debajo del 4 % en peso o incluso por debajo del 3 % en peso, lo que no es posible con solo separación manual.

La separación basada en NIR es controlable, es decir, es posible eliminar selectivamente plásticos del material de entrada. El resultado de la separación basada en NIR se denomina en la presente descripción *material de entrada procesado por NIR*.

Por lo tanto, en algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la separación basada en NIR se controla para eliminar selectivamente polímero halogenado (p. ej.,

cloruro de polivinilo (PVC, por sus siglas en inglés)) y compuesto que contiene arilo y/o polímeros que tienen un rango de punto de fusión de al menos 200 °C o más. En este caso, el material de entrada resultante procesado por NIR
5 tendrá una baja cantidad de al menos PVC, poliestireno (PS, por sus siglas en inglés) y, lo más importante, el PET. Específicamente, el material de entrada procesado por NIR del cual se han eliminado esencialmente los compuestos que contienen arilo y los polímeros halogenados, contiene menos
10 de 5 % de PET y, opcionalmente, menos de 1 % de PVC y/o menos de 3 % de PS. Este material de entrada “sin plástico” después se usa para la producción del material compuesto descrito actualmente (sin plástico u orgánico, dependiendo del nivel de eliminación de polímeros sintéticos).

15 En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la separación basada en NIR se opera de una manera que permite la separación de al menos polímeros que se reconocen en el arte como incompatibles con la poliolefina.

20 En algunos ejemplos preferidos, la separación basada en NIR se opera de una manera que permite la separación de compuestos orgánicos que contienen arilo, y preferentemente polímeros orgánicos de estireno o poliestireno, y al menos la eliminación de la mayor parte,
25 si no toda, la cantidad detectable de tereftalato de polietileno (PET). Por lo tanto, la separación basada en

NIR proporciona material de entrada orgánico que comprende menos de 5 % en peso de PET, a veces, menos de 4 % en peso, a veces, menos de 3 % en peso; a veces, menos de 2 % en peso; a veces, menos de 1 % en peso; a veces, en una
5 cantidad de entre 0 % en peso y 3 % en peso (0 % en peso, lo que significa que no hay cantidad detectable de PET como se determina de acuerdo con ISO11358.

En algunos ejemplos adicionales, la separación basada en NIR se opera de tal manera que permita la
10 separación de al menos las resinas poliméricas halogenadas, tales como resinas de cloruro de polivinilo (PVC o vinilo).

El material de entrada procesado por NIR se somete a mezclado mientras se calienta bajo fuerzas de cizallamiento.

15 En algunos ejemplos, el material de entrada procesado por NIR se somete a mezclado a alta velocidad.

En algunos ejemplos, el material de entrada procesado por NIR se somete a extrusión.

En el contexto de la presente descripción, el
20 calentamiento mientras se mezcla bajo fuerzas de cizallamiento no se realiza en un mezclador Banbury.

Se ha descubierto que cuando el material de entrada procesado por NIR comprende hasta un 10 % en peso de polímeros sintéticos (es decir, esencialmente libres de plásticos
25 sintéticos) y hasta un 4 % en peso de PET, es preferible mezclarlos mientras se calientan dentro de un mezclador de

alta velocidad. De hecho, se ha descubierto que cuando contiene menos de 10 % en peso de plásticos, el material de entrada no puede procesarse dentro de una extrusora.

La mezcla a alta velocidad no es una extrusora.

5 Más bien, la mezcla a alta velocidad se realiza en un mezclador de alta velocidad cerrado (sellado al vacío) que permite mezclar a temperaturas elevadas de hasta 130 °C, a una velocidad de al menos 2500 rpm y a una presión negativa.

Cuando el material de entrada está esencialmente
10 libre de polímeros sintéticos, la mezcla se realiza en un mezclador de alta velocidad a una velocidad de entre 2500 rpm y 4500 rpm. En algunos ejemplos, la mezcla se realiza en un mezclador de alta velocidad a una velocidad de entre 3000 rpm y 5000 rpm. En algunos ejemplos, la
15 mezcla se realiza en un mezclador de alta velocidad a una velocidad de entre 3000 rpm y 4500 rpm. En algunos ejemplos, la mezcla se realiza en un mezclador de alta velocidad a una velocidad de entre 2500 rpm y 4000 rpm.

Además, cuando se procesa con NIR, el material
20 de entrada está esencialmente libre de polímeros sintéticos, la mezcla dentro del mezclador de alta velocidad se realiza a una presión negativa de entre aproximadamente 0,5 Bar y aproximadamente 0,9 Bar; a veces entre 0,6 Bar y 0,9 Bar; a veces entre 0,6 Bar y 0,8 Bar;
25 a veces a aproximadamente 0,7 Bar. El mezclador de alta

velocidad está diseñado y operable para proporcionar esta presión negativa durante todo el tiempo de trabajo.

Aún más, cuando el material de entrada procesado por NIR está esencialmente libre de polímeros sintéticos,
5 la mezcla a alta velocidad se realiza a una temperatura de hasta aproximadamente 120 °C.

En algunos ejemplos, el mezclador de alta velocidad funciona con una velocidad periférica de entre 30 y 100 m/s; a veces, entre 30 y 80 m/s; a veces, entre
10 40 y 70 m/s; a veces y preferentemente entre 45 y 60 m/s. En algunos ejemplos, el mezclador de alta velocidad se configura o construye para operarse con una velocidad periférica de entre 45 y 60 m/s; o incluso de entre 50 y 70 m/s; o incluso entre 55 y 70 m/s.

15 En algunos ejemplos, la velocidad periférica se determina o dicta por el diámetro del rotor y la velocidad de rotación.

La mezcla dentro del mezclador de alta velocidad se realiza durante un tiempo suficiente para la formación
20 de una mezcla seca del material compuesto con la característica definida anteriormente. La duración de la mezcla dependerá de la velocidad de mezcla y de la presión negativa dentro de la mezcladora.

En algunos ejemplos, cuando se usa material de
25 entrada libre sintética, el mezclador de alta velocidad puede operarse a una velocidad de entre 2500 rpm y 3000 rpm;

una presión negativa de aproximadamente 0,7 Bar, temperatura de hasta 120 °C y durante 30 minutos a 50 minutos.

En algunos otros ejemplos, el mezclador de alta velocidad está diseñado y operable para permitir la mezcla mientras crea un movimiento de vórtice y, simultáneamente, para lograr homogeneidad durante el procesamiento. A veces, esto puede lograrse usando cuchillas especialmente diseñadas.

En algunos otros ejemplos, el mezclador de alta velocidad está diseñado y operable para mantener el equilibrio en el movimiento de vórtice para evitar vibraciones. Esto es de especial relevancia debido a la existencia de material de entrada que comprende una mezcla de materiales de diferente gravedad específica.

Generalmente, cuanto mayor sea la velocidad y/o menor sea la presión negativa en el mezclador de alta velocidad, menor será la duración de la mezcla. En algunos ejemplos, la mezcla continúa hasta que el nivel de volátiles dentro del mezclador es inferior al 1 %.

Sin estar limitado a ello, y de acuerdo con un ejemplo particular, el mezclador de alta velocidad se caracteriza por lo siguiente:

Velocidad periférica de las cuchillas mezcladoras 45- 60 m/s (las cuchillas mezcladoras preferentemente protegidas de la abrasión); temperatura para lograr la reacción 90-130 °C; vacío de al menos 0,7

bar durante todo el tiempo de trabajo; humedad máxima al final de la reacción -1 %.

En algunos ejemplos, cuando el material de entrada procesado por NIR comprende plásticos sintéticos en una cantidad de más de 10 % en peso (típicamente hasta 40 % en peso), y en estos casos el material de entrada se somete a extrusión.

En algunos ejemplos, las condiciones de extrusión involucran, al menos

- 10 - una temperatura interna (de funcionamiento) igual a o menor que 200 °C; a veces entre aproximadamente 150 °C y aproximadamente 200 °C; a veces entre aproximadamente 120 °C y aproximadamente 180 °C; a veces entre 15 160 °C y 200 °C, a veces entre 150 ° y 180 °C;
- un tiempo mínimo de retención dentro de la extrusora de al menos 2,0 minutos; a veces, de al menos 2,5 minutos, a veces, de al menos 3 minutos, a veces de al menos 3,5 minutos a veces, de al menos 4 minutos, a veces de al menos 4,5 minutos, a veces, de al menos 5 minutos, a veces de al menos 5,5 minutos, a veces, de al menos 6 minutos, a veces de al menos 7 minutos. Sin embargo, con la limitación de que el tiempo de permanencia no cause la descomposición o combustión del

material dentro de la extrusión. Por lo tanto, en algunos casos, el tiempo de retención se define en el rango de aproximadamente 2 a aproximadamente 10 minutos, a veces entre aproximadamente 3 minutos a 7 minutos, a veces entre aproximadamente 2,5 minutos y 10 minutos a veces entre aproximadamente 3,5 minutos y 8 minutos, a veces entre aproximadamente 4,5 minutos y 8 minutos, a veces entre aproximadamente 5,5 minutos y 7 minutos, a veces entre aproximadamente 5,5 minutos y 6,5 minutos.

Un extrusor comprende, típicamente, un barril calentado que contiene en él un solo tornillo o múltiples tornillos. Existen varios tipos de extrusiones que pueden usarse en el contexto de la presente descripción.

Sin limitarse a la teoría, se cree que la aplicación de fuerzas de cizallamiento sobre el material de entrada procesado por NIR, a temperaturas de material menores a 200 °C da como resultado la conversión del material de fibra orgánica (lignina, celulosa, hemicelulosa y otros carbohidratos) en fibras lignocelulósicas parcialmente carbonizadas que actúan como “suturas moleculares” naturales que integran (unen) plásticos y, particularmente, poliolefinas con diferentes polaridades

que, de cualquier otra manera, se separarían en etapas y crean un material compuesto orgánico-termoplástico.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, la extrusión se realiza en un extrusor reactor. Cuando se usa un reactor del tipo de un extrusor de tornillo único, se ha descubierto que un tiempo de retención mínimo debe ser de al menos 3, o al menos 4 y preferentemente al menos 5 o 5,5 minutos.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el extrusor reactor está diseñado para funcionar a 30-10 rpm, a veces a 40-90 rpm.

La temperatura de ejecución dentro de la extrusión (es decir, la temperatura interna, en otras palabras, la temperatura del material que se extruye) puede controlarse mediante termopar, tal como el termopar tipo J.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el extrusor está equipado con al menos 2 o más zonas de ventilación. La presencia de dos zonas de ventilación distintas a lo largo de la extrusora reduce la cantidad de compuestos orgánicos volátiles dentro del material extrudido e impide el atrapamiento de los compuestos volátiles. Se ha descubierto que la presencia de al menos dos zonas de ventilación es importante para evitar vacíos de aire en artículos de fabricación elaborados a partir del material compuesto descrito (los artículos de fabricación son artículos moldeados o extrudidos).

Se pueden añadir diversos aditivos al material de entrada heterogéneo procesado por NIR antes de mezclarlo mientras se calienta bajo fuerzas de cizallamiento (ya sea la mezcladora de alta velocidad, el extrusor u otras).
5 Estos incluyen, sin limitarse a estos, cualquiera o una combinación de estearato de zinc, estearato de calcio, antioxidantes, estabilizadores UV, agentes de soplado, plastificantes, elastómeros, cargas, p. ej., talco y carbonato de calcio; retardantes de llama y pigmentos como
10 negro de carbón, dióxido de titanio y otros pigmentos como se usan en la industria de plásticos.

Después, el material compuesto resultante se puede someter a un procesamiento adicional. Por ejemplo, el material compuesto puede enfriarse de manera
15 controlable, p. ej., exponiendo el material a un flujo de aire de enfriamiento. A veces, esto puede eliminar los volátiles adicionales del material compuesto.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el material compuesto se refina adicionalmente
20 usando sistemas de molienda convencionales. Notablemente, cuando se usa un mezclador de alta velocidad, la reducción/refinamiento de tamaño se produce típicamente durante la mezcla a alta velocidad.

En algunos ejemplos, la molienda implica pasar el
25 material compuesto a través de un proceso de molienda

continuo, tal como un molino triturador (p. ej., tipo 40/32 HA).

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el material compuesto se somete a un proceso
5 de molienda por impacto, donde las cuchillas giratorias de alta velocidad (placas batidoras) aplastan el material compuesto contra las paredes que lo encierran y contra sí mismo, y la fricción provoca una reducción de tamaño.

En algunos ejemplos de la materia descrita
10 actualmente, el refinamiento se puede lograr sometiendo el material compuesto a un "Knife Mil", tal como el que se logra usando ROTOPLEX 50\100. La tecnología está diseñada para hacer altas fuerzas de corte con un alto rendimiento. Utilizando el principio de "tijeras", un tambor con
15 cuchillas se mueve a alta velocidad frente a un cuchillo en un entorno enfriado.

En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el refinamiento se realiza mediante una combinación de dos o más técnicas de refinamiento, p. ej.,
20 una primera que hace uso de la tecnología de molino de martillos y la segunda que hace uso de la tecnología de molienda por impacto. La combinación de tecnologías permite reducir el material en polvo menor que 1,5 mm.

En algunos ejemplos de la materia descrita
25 actualmente, el material compuesto está sujeto a una reducción de tamaño. Esto se puede lograr bien dentro del

dispositivo de mezclado, p. ej., cuando se usa el mezclador de alta velocidad, o bien después de la etapa de mezclado mientras se calienta, p. ej., cuando se usa un extrusor. Cuando la reducción de tamaño se realiza por separado de la
5 etapa de mezclado mientras se calienta, se puede realizar usando una combinación de dispositivos de molienda configurados para moler el extruido hasta convertirlo en polvo (material compuesto refinado) y por tamizando a través de 900 μm (0,9 mm) o 1400 μm (1,4 mm), se obtienen dos
10 poblaciones de polvos, una con un tamaño de partícula inferior a 0,9 mm (denominada en la presente descripción de manera abreviada “Q0,9”) y otra con un tamaño de partícula inferior a 1,4 mm (denominada en la presente descripción de manera abreviada “Q1,4”). Se desea que el material compuesto
15 esté en forma de un polvo que tenga un tamaño dentro de un rango de unos pocos milímetros (0,1 mm-10 mm, o menos de 10 mm) para los usos posteriores de este, independientemente de la manera en que se produzca el material compuesto.

En algunos ejemplos de la materia descrita
20 actualmente, el polvo resultante se tamiza, p. ej., usando sistemas de tamices vibratorios que tamizan el tamaño de las partículas usando diferentes tamaños de orificios de diferentes diámetros.

En algunos ejemplos de la materia descrita
25 actualmente, la reducción de tamaño es a un tamaño de partícula definido por d_{90} igual a o menor que 1,4 mm. A

veces, la reducción de tamaño es a un tamaño de partícula de d_{90} igual a o menor que 1,3 mm; a veces, igual a o menor que 1,2 mm; a veces, igual a o menor que 1,1 mm; a veces igual a o menor que 1,0 mm; a veces igual a o menor que 0,9 a veces igual o menos de 0,8 mm; a veces igual a o menor que 0,7 mm.

En los siguientes ejemplos no limitantes, un material compuesto refinado que tiene un tamaño de $d_{90} \leq 1,4$ M se denomina abreviatura Q 1,4; y un material compuesto refinado que tiene un tamaño de $d_{90} \leq 0,9$ mm se denomina abreviatura Q 0,9.

Para los usos posteriores del material compuesto, se puede usar como material termoplástico. Por lo tanto, de acuerdo con algunos ejemplos, el material compuesto se recalienta a una temperatura superior a 100 °C. En algunos ejemplos, el material compuesto se convierte en fluido fundido al calentarse hasta una temperatura mayor que 120 °C; a veces, mayor que 130 °C; a veces, mayor que 140 °C; a veces, mayor que 150 °C; a veces, mayor que 160 °C; a veces, mayor que 170 °C; e incluso mayor que 180 °C, a veces a cualquier temperatura menor que 200 °C, siempre que el material compuesto no experimente ninguna descomposición o combustión como resultado del calentamiento.

Después, el fundido se puede formar en un artículo de fabricación deseado usando cualquier técnica conocida, entre otros, inyección de extrusión, moldeo que incluye

moldeo por inyección de aire y moldeo rotacional. De esta manera, se pueden fabricar artículos de una configuración definida. Por ejemplo, el material compuesto se puede usar para producir una variedad de artículos de fabricación que
5 se preparan típicamente a partir de plásticos puros o plásticos reciclados. Esto incluye, por ejemplo, recipientes de flujo, cubierta protectora, materiales de cubierta, pisos, muebles, laminados, tarimas, tanques sépticos y lo similar. En el contexto de la presente descripción, el
10 artículo de fabricación también comprende gránulos del material compuesto combinados con plásticos, para ser usados como material de admisión en la industria del plástico.

Por lo tanto, de acuerdo con la materia descrita actualmente, también se proporciona un método para
15 producir un artículo de fabricación, el método comprende formar un material fundido de uno o más polímeros sintéticos (preferentemente, polímeros termoplásticos) y el material compuesto descrito actualmente y dar forma al material fundido del artículo de fabricación.

20 Además, de acuerdo con la materia descrita actualmente, se proporciona un método para producir un artículo de fabricación, el método comprende mezclar uno o más polímeros sintéticos, cada uno de uno o más polímeros sintéticos que tienen una huella de carbono como se
25 determina de acuerdo con ISO14040: 2006; con el material compuesto descrito actualmente; en donde dicho artículo de

fabricación se caracteriza por una huella de carbono que es estadística y significativamente menor que la de dichos uno o más polímeros sintéticos. En algunos ejemplos de la materia descrita actualmente, el artículo de fabricación es como se describe en la presente descripción.

Aún más, se proporciona de acuerdo con la materia descrita actualmente un método para reducir las emisiones de carbono involucradas con la fabricación de un artículo de fabricación que comprende uno o más polímeros sintéticos, el método comprende la fabricación del artículo de fabricación con una mezcla de dicho uno o más polímeros sintéticos y un material compuesto que comprende (i) al menos 40 % en peso de materia orgánica heterogénea de un peso total del material compuesto, comprendiendo dicha materia orgánica heterogénea al menos celulosa (ii) una pluralidad de polímeros sintéticos y (iii) hasta un 15 % en peso de materia inorgánica;

en donde dicho material compuesto comprende menos del 5 % en peso de tereftalato de polietileno PET del peso total del material compuesto; y

en donde dicho compuesto tiene una huella de carbono menor que aproximadamente -10 kg CO₂ eq/kg como se determina de acuerdo con ISO14040: 2006.

Los ejemplos y aspectos de los métodos descritos en la presente descripción se denominan colectivamente en la presente descripción mediante el término “método”.

En algunos ejemplos del método descrito actualmente, el uno o más polímeros sintéticos son polímeros termoplásticos.

En algunos ejemplos del método descrito en la presente, el uno o más polímeros sintéticos son como se definen en la presente descripción con respecto al artículo del aspecto de fabricación.

De acuerdo con algunos aspectos de la materia descrita actualmente, la fabricación del artículo de fabricación implica calentarlo para formar una masa fundida.

De acuerdo con algunos aspectos de la materia descrita actualmente, la fabricación del artículo de fabricación implica extrudir una mezcla de dicho uno o más polímeros sintéticos y dicho material compuesto.

De acuerdo con algunos aspectos de la materia descrita actualmente, la fabricación del artículo de fabricación implica el moldeo por inyección de una mezcla de dicho uno o más polímeros sintéticos y dicho material compuesto.

De acuerdo con algunos aspectos de la materia descrita actualmente, la fabricación del artículo de fabricación implica el moldeo por compresión de una mezcla de dicho uno o más polímeros sintéticos y dicho material compuesto.

Diversos aditivos, cargas, etc., pueden añadirse al material compuesto tras recalentar/reprocesar en artículos

de fabricación útiles, para impartir ciertas propiedades deseadas al artículo finalmente obtenido después del enfriamiento. Los ejemplos de cargas pueden incluir, sin limitarse a estos, arena, minerales, material de neumático
5 reciclado, hormigón, vidrio, virutas de madera, materiales termoendurecibles, otros polímeros termoplásticos, grava, metal, fibras y partículas de vidrio, etc. Estas cargas pueden originarse a partir de productos reciclados, sin embargo, también pueden usarse materiales puros, tales como
10 plásticos puros (p. ej., polipropileno y/o polietileno). Se pueden añadir otros aditivos para mejorar la apariencia, textura o aroma del material compuesto, tal como colorantes, agentes enmascaradores de olores (p. ej., carbón activado), oxidantes (p. ej., permanganato de potasio) o antioxidantes.
15 No obstante, cabe señalar que las propiedades del material compuesto de la presente descripción y sus posibles usos se consiguen sin necesidad de usar aglutinantes o plastificantes, aunque éstos pueden añadirse en algunos de los materiales compuestos descritos actualmente.

20 En algunos ejemplos, el material compuesto se recalienta junto con poliolefinas añadidas externamente. En algunos ejemplos, el material compuesto se recalienta con uno cualquiera de polietileno y polipropileno. La mezcla recalentada se puede extrudir en gránulos mezclados para ser
25 usados posteriormente como material de entrada *respetuoso del medio ambiente* en la industria del plástico, debido a su

huella de carbono significativamente menor en comparación con la de las poliolefinas con las que se recalienta.

En algunos ejemplos del artículo de fabricación o método descrito en la actualidad, el artículo de fabricación comprende al menos 10 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 15 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 20 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 25 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 10 % en peso, a veces, al menos 20 % en peso, en veces al menos 30 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s)/plástico(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 35 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 40 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 45 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s)

sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 50 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende al menos 55 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s).

En algunos ejemplos, el artículo de fabricación o el método descrito en la presente descripción proporciona un artículo de fabricación que comprende como máximo 90 % en peso del material compuesto combinado con el (los) polímero(s) sintético(s); a veces, como máximo 85 %. En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 80 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 75 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 70 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 65 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 60 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 55 % en peso del material

compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s). En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende como máximo 50 % en peso del material compuesto con el (los) polímero(s) sintético(s).

5 En algunos ejemplos, el artículo de fabricación o el método descrito en la presente descripción proporciona un artículo de fabricación que comprende entre aproximadamente 10 % en peso de material compuesto y 90 % en peso de material compuesto. En algunos ejemplos, el artículo de fabricación
10 comprende entre aproximadamente 20 % en peso de material compuesto y 80 % en peso de material compuesto. En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende entre aproximadamente 30 % en peso de material compuesto y 60 % en peso de material compuesto. En algunos ejemplos, el artículo
15 de fabricación comprende entre aproximadamente 20 % en peso de material compuesto y 80 % en peso de material compuesto.

La materia descrita actualmente de acuerdo con algunos ejemplos del aspecto de artículo de fabricación o según algunos ejemplos del método de producción del artículo
20 de fabricación se refiere a un artículo que comprende al menos 10 % en peso de dichos uno o más polímeros sintéticos, a veces, al menos 15 % en peso; a veces, al menos 20 % en peso; a veces, al menos 25 % en peso; a veces, al menos 30 % en peso; a veces, al menos 35 % en peso; a veces, al menos
25 40 % en peso; a veces, al menos 45 % en peso; a veces, al menos 50 % en peso; a veces, al menos 55 % en peso; a veces,

al menos 60 % en peso; a veces, al menos 65 % en peso; a veces, al menos 70 % en peso.

La materia descrita actualmente de acuerdo con algunos ejemplos del aspecto de artículo de fabricación o según algunos ejemplos del método de producción del artículo de fabricación se refiere a un artículo que comprende al menos 5 % en peso de dicho material compuesto; a veces, al menos 10 % en peso; a veces, al menos 15 % en peso; a veces, al menos 20 % en peso; a veces, al menos 25 % en peso; a veces, al menos 30 % en peso; a veces, al menos 35 % en peso; a veces, al menos 40 % en peso; a veces, al menos 45 % en peso; a veces, al menos 50 % en peso; a veces, al menos 55 % en peso; a veces, al menos 60 % en peso; a veces, al menos 65 % en peso; a veces, al menos 70 % en peso; a veces, al menos 75 % en peso; a veces, al menos 80 % en peso; a veces, al menos 85 % en peso.

En algunos ejemplos, el artículo de fabricación o el método de producción del mismo están diseñados para incluir un material compuesto a polímero sintético en el rango de entre 20 % en peso y 80 % en peso a 80 % en peso y 20 % en peso; a veces, en el rango de entre 30 % en peso y 70 % en peso a 70 % en peso y 30 % en peso; en el rango de entre 40 % en peso y 60 % en peso a 60 % en peso y 40 % en peso; a veces, aproximadamente 50 % en peso a aproximadamente 50 % en peso.

De acuerdo con algunos aspectos del artículo de fabricación o su método de producción, el uno o más polímeros sintéticos se selecciona del grupo que consiste en poliolefinas y polímeros biodegradables.

5 En algunos ejemplos, el uno o más polímeros sintéticos comprenden plásticos puros.

En algunos ejemplos, el plástico virgen comprende al menos una poliolefina (p. ej., PP y/o PE).

En algunos ejemplos, el uno o más polímeros
10 sintéticos se seleccionan de polipropileno (PP), polietileno (PE).

En algunos ejemplos, particularmente cuando el material compuesto comprende menos de 10 % en peso de polímeros sintéticos, el material compuesto se puede
15 combinar con un polímero biodegradable para formar artículos de fabricación biodegradables.

En algunos ejemplos, el artículo de fabricación se combina con ácido poliláctico (PLA), un polímero biodegradable. Se ha descubierto sorprendentemente que cuando
20 el material compuesto, que tiene menos de 10 % en peso de plásticos sintéticos (es decir, el *compuesto orgánico*), se combina con un polímero biodegradable, tal como PLA, el artículo de fabricación combinado exhibe una biodegradabilidad única, esencialmente similar a la de la
25 celulosa, y una huella de carbono baja como se describe en la Tabla 4.

En vista de la biodegradabilidad única del material compuesto que comprende cantidades bajas de plásticos sintéticos, puede tener muchos usos donde existe interés en usar polímeros biodegradables, con bajo
5 impacto/huella de carbono, tales como, sin estar limitado a ello, artículos de envasado, p. ej., envases de alimentos y preferentemente envases aprobados para alimentos.

El material compuesto de la presente descripción, así como el material obtenido al mezclar el
10 material compuesto con plásticos, por lo tanto, puede procesarse a través de una variedad de procesos industriales, conocidos por sí mismos, para formar una variedad de productos terminados o terminados.

Como se usa en la presente descripción, las
15 formas “**un**”, “**una**” y “**la**” incluyen referencias en singular y en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Por ejemplo, el término “**una materia particulada**” incluye uno o más tipos de materia particulada que tienen las características mencionadas.

20 Además, como se usa en la presente descripción, el término “**que comprende**” pretende significar que el material compuesto incluye los componentes mencionados, es decir, orgánicos no plásticos, plásticos e inorgánicos, pero sin excluir otros elementos. El término “**que consiste**
25 **esencialmente en**” se usa para definir material compuesto

que incluye los elementos mencionados pero excluye otros elementos que pueden tener un significado esencial en las propiedades del material compuesto. “**Que consiste en**” se refiere por lo tanto a excluir más de los oligoelementos
5 de otros elementos. Las modalidades definidas por cada uno de estos términos de transición están dentro del alcance de esta invención.

Además, todos los valores numéricos, p. ej., cuando hacen referencia a las cantidades o rangos de los
10 elementos que constituyen el componente descrito en la presente descripción son aproximaciones que varían (+) o (-) hasta en un 20 %, a veces hasta en un 10 % de los valores declarados. Debe entenderse, incluso si no siempre se indique explícitamente, que todas las designaciones
15 numéricas están precedidas por el término “**aproximadamente**”. Por ejemplo, debe entenderse que el término “aproximadamente 10 %” abarca el rango de 9 % a 11 %; los términos aproximadamente 100 °C indican un rango de 90 a 110 °C.

La invención se ejemplificará a continuación en la
20 siguiente descripción de experimentos que se llevaron a cabo de acuerdo con la invención. Debe entenderse que estos ejemplos pretenden ser ilustrativos y no limitantes. Obviamente, muchas modificaciones y variaciones de estos ejemplos son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores.
25 Por lo tanto, debe entenderse que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención se puede poner en

práctica de otra manera, de múltiples formas posibles, con respecto a como se describe específicamente a continuación.

Ejemplos no limitantes

5 En los siguientes ejemplos no limitativos, se han
preparado dos tipos de materiales compuestos a partir de
desechos domésticos. En ambos, el procesamiento del desecho
heterogéneo hasta la eliminación selectiva de plásticos
usando NIR, esto incluye la preclasificación, la trituración
10 y el secado. Además, se realizaron análisis similares en los
dos tipos ilustrativos de material compuesto.

 En los siguientes ejemplos se usaron diversos
dispositivos y sistemas. Debe entenderse que aunque algunos
de los dispositivos se construyeron para el propósito de la
15 presente invención, todos se basan en dispositivos
convencionales. Estos incluyen una trituradora, una extrusora
monohusillo, una máquina de moldeo por inyección, una prensa
de moldeo por compresión y cualquier otra máquina en la que
el material se someta a cizallamiento y/o calor, como una
20 granuladora, una prensa de granulación, un molino, etc.

Dispositivos y métodos

Preclasificación - implica la eliminación manual
de metales, vidrio y minerales.

25 **Imán de separación de metal** (IFE MPQ 900 F-P)
usado para separar el material ferroso. El imán separador

de metal incluye un electroimán que sobrevuela una cinta transportadora; la bobina crea un campo magnético estrecho y profundo que levanta las piezas de metal ferrosas y las transporta una corta distancia a través de su propia cinta transportadora, lo que separa de esta manera los metales magnéticos del resto de los materiales. Los metales se disponen en un recipiente en el fondo del sistema y se envían nuevamente al reciclaje. El sistema de banda magnética se instala en el extremo de la cinta transportadora y la caja se ubica exactamente superior a la parábola de vuelo a la captura de materiales magnéticos.

Sistema de corriente de Foucault (imán Wagner 0429\0-37) usado para separar los metales. Específicamente, se usó una banda de corriente de Foucault de 2,5 m de ancho con imanes de gradiente alto de neodimio. El sistema de postes se instaló excéntricamente en el interior de un tambor de cinta más lento. El tambor de banda tiene una velocidad externa de 1 a 3 m/s. El tambor interno funciona hasta a 3000 rpm. Esto crea un campo de corriente de Foucault que repele los metales no ferrosos (que, por lo tanto, se eliminan) pero atrae y calienta metales ferrosos. (Wagner Magnete 0429\0-37). La fuerza de separación es mayor con el aluminio y disminuye con el latón, el cobre y los demás metales no ferrosos.

La corriente de Foucault puede reemplazarse con detectores de metales para lograr resultados similares.

Al final de este proceso de clasificación, se obtuvo un desecho orgánico sólido doméstico con una cantidad significativamente reducida de metal/plástico/inorgánico. La eliminación final de estas impurezas se realizó después del secado.

En esta etapa, los desechos sólidos domésticos naturales heterogéneos (HSNW, por sus siglas en inglés) suelen tener un alto contenido de agua/humedad, entre el 25 % y el 50 %. Por lo tanto, este HSNW se transfirió a un proceso de secado.

Biosecado (sistemas de biosecado de compost) - El biosecado se activó mediante bacterias y organismos multicelulares presentes en los residuos domésticos. Este proceso se produce mediante la digestión del material orgánico por bacterias que crean calor. Es importante que los residuos domésticos estén poco estratificados en condiciones controladas y ventilados con una cantidad de aire definida con precisión. Este aire no debe ser demasiado frío o demasiado húmedo mientras la fuerza de soplado se controla digitalmente. Durante un período de varios días y hasta 2 semanas, los desechos municipales (MW, por sus siglas en inglés) se calientan y obtienen calor - de hasta 70 °C.

El calor se regula con un suministro controlado de aire y se establece la temperatura óptima del proceso de aproximadamente 55 °C a 70 °C. Cuando el MW alcanza un nivel de sequedad de aproximadamente 15 a 20 % de contenido

de agua, o incluso de 15 % a 18 %, la actividad de las bacterias disminuye considerablemente y el proceso de doble secado se considera completo.

Secado secundario - una segunda etapa de secado
5 tuvo lugar en un secador industrial de lecho rodante que funciona según un principio de secado asistido por aire caliente. Esta etapa de secado redujo el nivel de humedad por debajo del 10 %.

Trituradora (Vecoplan VAZ 1300) usada para dividir
10 en partículas los residuos secos clasificados. Específicamente, se usaron dos tipos *pretrituradora* y *trituradora secundaria*.

Una *pretrituradora* se define por uno, dos, tres o cuatro ejes acoplados con accionamiento hidráulico o
15 electromecánico. La característica de las prepretrituradoras es que se genera una fuerza muy grande para romper los residuos en pequeñas piezas. Los materiales no triturables que interfieren con la trituración secundaria se pueden separar. Los ejes de trituración
20 usados están conectados mecánicamente a los ejes y la velocidad periférica de los ejes es baja.

La *trituración secundaria* se realizó por medio de 1 o 2 rotores conectados mecánicamente con herramientas de desgaste y contracuchillas, se instaló una cesta de tamizado
25 delante de los rotores para controlar el tamaño de partícula.

Sistema separador de aire (IFE UFS600X+1000X)

usado para separar partículas ligeras y pesadas. Específicamente, el separador/clasificador de aire consiste en una cinta de aceleración sobre la que las partículas se colocan en una capa, y una barra de aire posterior que sopla un flujo de aire ajustable, definido en el material. Después de la barra de aire, usualmente hay un separador entre las partículas ligeras y pesadas. Después de la separación, hay un espacio divisor que le da a las partes de la luz la oportunidad de hundirse. Los materiales pesados se separan entre la barra de aire y el separador.

Sistema de infrarrojo cercano (SESOTEC MN 1024)

usado para clasificar selectivamente/separar polímeros de plástico específicos de salida. Específicamente, se usó un sistema con un escáner y con soporte de sensor activo y barra de soplado activa. Además, el sistema estaba equipado con una cámara NIR de alta resolución con al menos 1,5 mm de sensibilidad, lo que capturó la reflexión del espectro IR de sustancias especiales y lo compara con espectros almacenados de diversas sustancias. Si el sistema detectó una sustancia deseada, la función que se programó libremente se consultó en forma binaria - se separó o se mantuvo. A continuación, se soplaron las partículas con la misma finura de detección usando la barra de boquillas de soplado conectada.

La clasificación selectiva dio como resultado un desecho heterogéneo selectivo, en forma particulada, y que

comprende menos de 1 % de PVC y menos de 3 % de PS, y menos de 5 % de PET.

Se usó una **extrusora de un solo tornillo** (Tipo F: GRAN 145). Específicamente, la extrusora de tornillo único tenía las dimensiones de 145 mm de diámetro, longitud de tornillo: 950 cm, holgura de tornillo al barril: 0,5-2 mm, tornillo y cilindro de alta resistencia al desgaste, diámetro de abertura de la matriz de hasta 30 mm y 2 zonas de ventilación. En funcionamiento, los rotores del silo antibloqueo mantienen en movimiento *listos para usar* (RTW, es decir, los residuos heterogéneos clasificados), lo que impide que el material se bloquee y garantiza su fluidez. El tornillo de alimentación se activó automáticamente dependiendo del uso de la capacidad de la extrusora.

Después del proceso de extrusión, el material se movió a un sistema de enfriamiento controlado con una cinta transportadora de enfriamiento de 800 cm de longitud y flujo de aire de 15.000 metros de metro cúbico por hora.

Mezclador de alta velocidad - un mezclador de calentamiento a alta velocidad operado a 3000 rpm bajo presión negativa (0,7 Bar durante 40 min, a una temperatura de hasta 120 °C).

Dispositivos de molienda - Se usaron varios dispositivos de molienda para reducir el tamaño del producto final, es decir, el material compuesto.

Molino de martillos tipo 40\32 HA - el molino de martillos muele piezas blandas a semiduras en un proceso continuo, en el que el material sufre un proceso de mezcla de partículas mientras se muele creando así homogeneidad.

5 *Molino de impacto (ULTRAPLEX UPZ 500)* - el tamaño de las partículas se redujo a otro nivel usando cuchillas giratorias de alta velocidad (placa batidora) que “golpean” las partículas contra las paredes y entre sí y donde la fricción significativa entre los lados del molino (pistas
10 de molienda) y la placa batidora reduce el material en forma de polvo. El polvo resultante se pasó por un sistema de tamiz vibratorio que tamiza el tamaño de las partículas mediante orificios de diferentes tamaños y diámetros.

Las partículas de tamaño reducido se transportaron
15 después desde el molino de martillo a través de sopladores hasta la siguiente etapa de molienda, el molino de impacto.

Knife Mil (ROTOPLEX 50\100) - partículas de 0,9 mm de tamaño (y menos) y aquellas de 1,4 mm, cada una fue directamente al almacén. El tamaño de partícula mayor
20 que 1,4 mm se sometió a un tratamiento adicional usando un “Knife Mil” (ROTOPLEX 50\100). Específicamente, un Knife Mil está diseñado para crear grandes fuerzas de corte con un alto rendimiento. Utilizando el principio de “tijeras”, un tambor con cuchillas se mueve a alta velocidad frente a
25 un cuchillo en un entorno enfriado. A través del sistema

de Knife Mil, las partículas (especialmente las fibras) se redujeron adicionalmente a un tamaño menor que 1,4 mm.

Analizador elemental (Flash EA 1112) - se usó para la determinación del carbono total (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y oxígeno (O).

Espectroscopia de infrarrojos transformada por Fourier (FTIR) - Nicolet 6700, espectrofotómetro para la gama de infrarrojos medios. Los espectros de absorbancia se obtuvieron registrando la absorbancia en función de la longitud de onda. Las concentraciones se calcularon a partir de mediciones de absorbancia a longitudes de onda específicas que figuran en las instrucciones de uso del fabricante y se basan en bibliotecas comúnmente conocidas.

Termogravimetría (TG)-Calorimetría diferencial de barrido (DSC) - STA TG-DSC 449 F3 Jupiter® (NETZSCH-Geratebau) - La aplicación simultánea de TG y DSC a una sola muestra en un instrumento STA produce más información que los TG de aplicación separados y DSC en dos instrumentos diferentes. El STA permite el monitoreo cuantitativo simultáneo de los cambios termodinámicos de masa y masaje que ocurren en el material evaluado bajo calentamiento. El acoplamiento de MS al instrumento para el análisis térmico permite la identificación de los materiales/componentes que se desarrollan durante el experimento de calentamiento. Por lo tanto, la combinación de TG-DSC de STA con MS proporciona una herramienta directa única para una caracterización

experimental distinta de reacciones químicas y transformación de fases en una amplia gama de materiales. El ensayo TG-DSC se realizó en las siguientes condiciones:

Horno	- Carburo de silicio
Rango de temperatura	- -150 °C a 1550 °C
Velocidades de calentamiento	- 0,001 K/min a 50 K/min
Velocidad de enfriamiento (enfriamiento libre)	- 1540 a 100 °C: 60 min
Rango de pesaje	- 35 g
Peso inicial máx.	- 35 g
Atmósferas	- inerte (N ₂ , Ar), oxidante (aire seco), reductor (Ar+5 % H ₂ su), vacío
Controlador de flujo de masa integrado	- para 2 gases de purga y 1 gas protector
Unidad al alto vacío	- hasta 10 ⁻⁴ mbar (10 ⁻² Pa)

5

Cromatografía de gases-espectrometría de masas

(GC-MS) - Se analizaron muestras del material compuesto tras una extracción de 24 horas en Head-Space, usando un detector de cromatografía de gases (GC), seguido de espectrometría de masas por cromatografía de gases (MS). Específicamente, se equipó un GC Agilent 7890A con un automuestreador, un inyector dividido/sin división y tres detectores: FID y ECD y TCD. La GC se equipó con control electrónico de presiones y flujos de gas.

Pruebas de tracción - las propiedades de tracción se determinaron de acuerdo con ISO 521-2:1996 usando el tipo de muestra A1: longitud general $\geq$ 150-200 mm, longitud de la porción de cara paralela estrecha = 80 $\pm$ 2 mm, radio 20-25 mm, distancia entre porciones de lados paralelos

amplias 104-113 mm, anchos en los extremos = $20 \pm 0,2$ mm, ancho en una porción estrecha $10 \pm 0,2$ mm, grosor preferido $4 \pm 0,2$ mm, longitud de calibración $50 \pm 0,5$ mm y de distancia inicial entre sujeciones = 115 ± 1 mm.

5 **Impacto Izod (ranura)** - El impacto Izod se midió usando ISO 180 (péndulo 1J)/ASTM D256 (péndulo 1J), ranura, martillo 1J. (Resistencia al impacto Izod, muestras con ranura de bordes)

Impacto Charpy-La prueba de impacto Charpy se
10 realizó de acuerdo con la ISO 179, con ranura, martillo 1J (resistencia al impacto Charpy, probetas con ranuras en los bordes, de acuerdo a la ISO 179, peso del péndulo 1J).

Pruebas de flexión - La prueba se realizó usando el método ASTM D790 (ISO 178), con velocidad de prueba de
15 5 mm/min.

Contenido de ceniza - La ceniza se determinó de acuerdo con el método A de la ISO 3451. Se usó dos porciones de prueba de 5g cada una y quemadas a 950 ± 50 °C durante 30 min.

20 **Energía superficial** - La energía superficial se midió se midió de acuerdo a la ASTM D2578 usando Dyne Pens.

Índice de oxígeno - el índice de oxígeno se determinó de acuerdo con ISO 4589-2.

Densidad - La densidad se midió usando MRC
25 Laboratory Instruments (modelo BPS750-C2V2), de acuerdo con el procedimiento ASTM D792= ISO1183-1 (plásticos -

métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares). La muestra debe tener al menos 1 cm³ y al menos 1 mm de grosor (por cada 1 gr de peso).

Ejemplo 1 - Preparación de compuesto sin plástico

5

Los desechos domésticos mezclados se sometieron a un proceso de preclasificación y biosecado como el descrito anteriormente. En el material de entrada clasificado, aunque el plástico se redujo, seguía siendo superior al 10 % en peso y por lo tanto no se considera “sin plástico”.

Los desechos municipales biosecados se sometieron a trituración para obtener partículas de desechos de un tamaño no superior a (hasta) 30 milímetros. Las partículas trituradas hasta o menores que 30 milímetros se retiraron a través de una cesta dedicada mientras que las partículas más grandes continuaron girando en el triturador hasta que alcanzaron el tamaño deseado. En particular, el triturado generó cierta fricción que redujo aún más la humedad en 2 %-3 %. Las partículas trituradas se volvieron más uniformes, lo que permitió que las siguientes etapas del proceso funcionen más eficientemente.

Después de la trituración, algunas de las impurezas que estaban “pegadas” o envueltas en las partículas de desechos triturados se liberaban mediante un sistema separador de aire, como se describió anteriormente. El material triturado eliminó cualquier

parte reminiscente de las partículas pesadas (metales o minerales) del material triturado (lo que resultó en la formación de una “fracción ligera”).

Después, la fracción ligera se transportó al
5 sistema de separación por NIR como se describió anteriormente, donde se eliminaron selectivamente el polímero halogenado, como el PVC y los compuestos que contienen arilo, tales como el poliestireno y/o el PET.

El material obtenido tras la separación por NIR
10 proporcionó el material de entrada heterogéneo clasificado (denominado en lo sucesivo “material de entrada procesado por NIR”).

Extrusión: el material de entrada procesado por NIR se sometió a extrusión. La extrusora se operó para
15 tener una temperatura de funcionamiento de entre 150 °C y 180 °C, un tiempo de permanencia de 5-7 minutos y una velocidad de rotación de 60-90 rpm.

Después de pasar el proceso de extrusión, el material fundido resultante se enfrió a 40 °C mediante un
20 transportador de enfriamiento (800 cm de longitud y flujo de aire de 15000 metros cúbicos por hora).

El material compuesto enfriado se sometió a un refinamiento de tamaño de reducción/tamaño al pasar el mismo a través de un molino triturador seguido de un molino de
25 impacto y las partículas refinadas después se tamizaron

selectivamente para proporcionar Q0,9 (partículas de hasta 0,9 mm) o Q1,4 (partículas de hasta 1,4 mm) de productos.

Ejemplo 2 - Preparación de compuesto orgánico

5 Los desechos domésticos mezclados se sometieron a un proceso de preclasificación y biosecado como el descrito anteriormente.

 Después la separación por NIR de casi todos los plásticos sintéticos, el material de desecho orgánico
10 restante estaba esencialmente libre de cualquier material metálico, inorgánico y plástico (siendo por lo tanto al menos 90 % orgánico). Este material de entrada libre, sintético, esponjoso, esencialmente seco y particulado, se usó para su procesamiento mediante un mezclador de alta
15 velocidad en el material compuesto orgánico deseado.

 Específicamente, el material de entrada esponjoso, orgánico, libre, sintético se transfirió a un mezclador calentador de alta velocidad diseñado para mezclar polvos. A este respecto, cabe señalar que el
20 material de entrada esponjoso no podría procesarse en un mezclador Banbury convencional, que si bien es un mezclador intensivo, está diseñado para mezclar cauchos o polímeros fundidos y no es adecuado para mezclar intensivamente polvos y/o materiales esponjosos.

25 El principio del mezclador de alta velocidad debía permitir la mezcla, molienda y homogeneización

simultáneas mientras se calentaba debido al vórtice creado y a la fricción interna entre las partículas de polvo. Se monitoreó la temperatura interna y, una vez alcanzada una temperatura interna de 90 °C, se aplicó una presión negativa (0,7 Bar) para eliminar los volátiles dentro del mezclador cerrado. El proceso de mezclado bajo vacío continúa hasta que la temperatura interna alcanza 120 °C.

Después, el material compuesto, homogéneo, libre de sintéticos resultante se transfirió a un mezclador refrigerador industrial para alcanzar una temperatura inferior a 40 °C.

Análisis -

15 Propiedades físicas

Se analizaron las propiedades físicas del material compuesto sin plástico y del material compuesto orgánico, tras ser compuestos con polipropileno al 70 % (MFI de 230 °C/2,16 kg de polipropileno siendo 60 g/10 min).

20 En la **Tabla 2** se resumen las diferentes propiedades examinadas, la norma de ensayo usado para los dos ejemplos no limitativos de material compuesto descrito en la presente descripción.

Tabla 2: Propiedades físicas

		30 %: Orgánicos 70 %: PP	30 %: Sin plástico 70 %: PP
	Norma		
Módulo de Young de tracción (MPa)	ISO 527-2	1200	1480
límite elástico de tracción (MPa)		13,8	15,5
Deformación límite a la tracción(%)		2,9	2,9
Alargamiento total a la tracción (%)		3,8	4,1
Fuerza de impacto (kJ/m ²)	ISO 180	3,1	4,8
Módulo de flexión (Mpa)	ISO 178	1140	1280
Tensión de esfuerzo máximo (Mpa)		25,0	28,5
Gravedad específica (g/cm ³)	ISO 1183	0,98	0,97
MFI de 230 °C/2,16 kg (g/10 min)	ISO 1133	58	27

Huella de carbono

5 Una huella de carbono es una medida de los gases de efecto invernadero liberados por determinadas actividades, tales como la fabricación de un producto específico, y se expresa en toneladas métricas de emisiones equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq) generadas.

10 Se evaluó la huella de carbono de los dos materiales compuestos ejemplificados en la presente descripción, determinándose esta última mediante la LCA (Evaluación del ciclo de vida) de acuerdo con la norma ISO14040, usando un software de cálculo de la LCA a partir

15 del balance de masa de energía total requerido por el nuevo

proceso. La metodología de cálculo se proporcionó anteriormente en la presente descripción.

Específicamente, la metodología de cálculo de la LCA de los dos materiales compuestos requiere determinar el impacto de la actividad de conversión. A este respecto, cabe señalar que el cálculo de la huella de carbono de cada uno de los materiales compuestos sólo tiene en cuenta la energía usada para el proceso de transformación propiamente dicho y no incluye las etapas previas de secado y trituración, ya que éstas se realizan antes de que los desechos lleguen a la instalación de procesamiento.

Los siguientes ejemplos no limitativos se basan en una planta con sede en Tze'elim, al sur de Israel, donde se requiere poca energía para producir los diferentes tipos de material compuesto que reducen las emisiones de carbono (p. ej., sin plástico y orgánicos) debido a la disponibilidad del calor solar para el secado. Por lo tanto, en las condiciones de este ejemplo no limitativo, sólo se necesitaron 0,39 kWh de electricidad para producir cada kilogramo de material compuesto Organics, lo que se convierte en 1,40 MJ/kg.

El impacto climático de la matriz eléctrica israelí fue 0,31 kg CO₂ eq/MJ (GWP₁₀₀) y 0,35 kg CO₂ eq/MJ (GWP₂₀). Esta información se tomó del software de LCA IMPACT 2002+ (vQ2.28) (julio de 2017) V2.28/IMPACT 2002+

y se determinó en colaboración con los consultores de sostenibilidad de Quantis.

La LCA neta se calculó restando la emisión evitada calculada de acuerdo con la ecuación presentada en la **Figura 1**, del impacto climático del uso de energía del proceso de conversión (arriba). Se ha comprobado que el impacto neto del material compuesto descrito en la presente descripción es negativo para ambos tipos de material compuesto.

En la **Tabla 3A** se indican las emisiones evitadas y el impacto climático neto del material *compuesto libre de sintéticos* compuesto por un 93,3 % de desechos alimentarios y un 6,7 % de material inorgánico (números redondeados).

Tabla 3A - Impacto climático del material compuesto libre de sintéticos

Métrica del potencial de calentamiento global (GWP)	Impacto de la actividad de conversión (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)	Emisiones evitadas (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)	Impacto climático neto (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)
GWP ₂₀	0,49	17,87	-17,39
GWP ₁₀₀	0,43	7,07	-6,63

En la **Tabla 3B** se indican las emisiones evitadas y el impacto climático neto (números redondeados) del material *compuesto sin plástico* (es decir, que comprende aproximadamente un 65 % de orgánicos no plásticos y aproximadamente un 35 % de inorgánicos).

Tabla 3B - Impacto climático del material compuesto sin plástico que comprende más de 10 % de plásticos

Métrica del potencial de calentamiento global (GWP)	Impacto de la actividad de conversión (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)	Emisiones evitadas (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)	Impacto climático neto (kg de CO ₂ eq/kg compuesto)
GWP ₂₀	0,49	12,17	-11,69
GWP ₁₀₀	0,43	4,81	-4,38

- 5 A efectos comparativos, la huella de carbono de los dos materiales compuestos se comparó con la del polipropileno (PP) virgen, el ácido poliláctico (PLA) virgen y con la del material compuesto descrito en WO10082202 (en adelante, el “*compuesto sin clasificar*”).
- 10 La comparación se proporciona en la **Tabla 4**.

En la Tabla 4 se indica la huella de carbono de cualquier material solo o en combinaciones.

Tabla 4: Huella de carbono

Composición	Huella de carbono (kg CO ₂ eq/kg)
Polipropileno (PP) al 100 %	2,7
Ácido poliláctico (PLA) al 100 %	3,8
Compuestos <i>sin clasificar</i> al 100 %*	-7,2
Compuestos <i>orgánicos</i> al 100 %	-17,4
Compuestos <i>sin plástico</i> al 100 %	-11,7
PP al 70 % + Compuestos <i>orgánicos</i> al 30 %	-3,3
PLA al 70 % + Compuestos <i>orgánicos</i> al 30 %	-2,6

- 15 *como se describe en WO10082202

La Tabla 3 muestra claramente que el *compuesto orgánico* descrito en la presente descripción tiene un

impacto mucho más significativo sobre el medio ambiente, por su huella de carbono neta negativa, que es mayor incluso que la del *compuesto sin clasificar* de WO10082202.

Similarmente, la Tabla 4 muestra que el compuesto
5 sin plástico tiene un impacto ambiental significativamente mayor que la del compuesto plástico/orgánico.

Los beneficios de los materiales compuestos descritos en la presente descripción, que están al menos esencialmente libres de PET, se muestran en la Tabla 4, en
10 comparación con las huellas de carbono de los polímeros sin el material compuesto, que son positivos.

FIG. 1

$$BE_{CH_4, SWDS, y} = \phi_r \times (1 - f_p) \times GWP_{CH_4} \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times F \times DOC_{iy} \times MCF_y \times \sum_{x=1}^y \sum_j (W_{jx} \times DOC_j \times e^{-kj \times (y-x)} \times (1 - e^{-kj}))$$

Factor de corrección del modelo: (10)

Fracción de metano capturado en el SWDS: (20)

Impacto potencial del metano en el calentamiento global: (30)

Factor de oxidación: (40)

Conversión del carbono en metano: (50)

Fracción de metano en el SWDS: (60)

Fracción de carbono orgánico degradable que puede descomponerse: (70)

Factor de corrección de metano: (80)

Diferenciación de horizontes temporales: (90)

Diferenciación de tipos de desechos: (100)

Cantidad de SW tipo j cuya eliminación se impide en un SWDS: (110)

Fracción de carbono orgánico degradable en el tipo de desecho: (120)

Tasa de desintegración según el tipo de desecho: (130)

Horizonte temporal en revisión: (140)

Tasa de desintegración según el tipo de desecho: (130)