



## DESCRIPCIÓN

5 Sistemas y métodos para formar biorresiduo celulósico a partir de biorresiduo crudo

### Antecedentes

10 El campo de la invención se refiere de manera general a métodos para el fraccionamiento de residuos sólidos y para la producción de productos útiles y la recuperación de materiales reciclables procedentes de las diferentes fracciones. Más particularmente, los métodos de la presente invención se refieren al fraccionamiento de residuos sólidos urbanos para proporcionar una corriente de biorresiduo limpia adecuada para su conversión en  
15 monosacáridos y proporcionar corrientes reciclables que incluyen plástico de polietileno de alta densidad y plástico de polietilentereftalato.

Los consumidores comerciales, industriales y residenciales generan grandes cantidades de residuos sólidos (por ejemplo, residuos sólidos urbanos ("RSU") que se deben manipular y  
20 eliminar de una forma ambientalmente responsable. De manera tradicional, los RSU se han eliminado mediante disposición en vertedero o incineración. Sin embargo, estos métodos para desechar el producto residual contaminan el suelo, el agua y el aire y requieren uso de un terreno que podría utilizarse para otros fines.

25 Los RSU comprenden típicamente cantidades significativas de material reciclable incluyendo componentes tales como biorresiduos orgánicos celulósicos (tales como residuos de alimentos, residuos de jardines, madera, papel y cartón), plástico, vidrio, materiales ferrosos, y materiales no ferrosos (como aluminio). Las operaciones de clasificación de RSU para recuperar los diferentes componentes son conocidos en la materia pero dichos métodos  
30 conocidos son típicamente ineficaces. Las fracciones de biorresiduos de la técnica anterior son típicamente impuras y están contaminadas con diferentes componentes, tales como inhibidores de la hidrólisis enzimática y la fermentación, que normalmente convierten estas fracciones de biorresiduos celulósicos en no adecuadas para su conversión en monosacáridos y productos de fermentación opcionales a una tasa y rendimiento comercial  
35 aceptable. Por este motivo, los métodos de fraccionamiento de RSU de la técnica anterior generalmente recuperan valor de los biorresiduos orgánicos mediante incineración (recuperación de energía), gasificación (mediante pirólisis) o compostaje.

Por tanto, existe una necesidad de sistemas y métodos para formar biorresiduos celulósicos

a partir de una mezcla de residuos sólidos, dichos biorresiduos celulósicos de suficiente pureza para permitir tasas comercialmente aceptables de conversión en monosacáridos mediante hidrólisis enzimática.

## 5 Breve descripción

En un aspecto de la invención, se proporciona un método para preparar una corriente de biorresiduo limpia a partir de una corriente de biorresiduo en bruto y una mezcla de plásticos. El método comprende: (a) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una  
10 primera etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de rechazo pasante que tiene un tamaño promedio de partícula menor de 6 mm a 15 mm y que está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto y (2) una primera corriente de hundido (rechazo) enriquecida en biorresiduo en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto, en la que la corriente pasante comprende al menos un 50  
15 por ciento en peso de compuestos inorgánicos; (b) clasificar la primera corriente de hundido en una segunda etapa de clasificación para formar una segunda corriente de rechazo y una corriente de biorresiduo intermedia en la que la segunda corriente de rechazo tiene mayor densidad en gramos por  $\text{cm}^3$  en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente de rechazo está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación  
20 con la corriente de biorresiduo intermedia; (c) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una tercera etapa de clasificación para formar una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante, en la que la segunda corriente de hundido está enriquecida en plástico en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y en la que la segunda corriente pasante tiene un tamaño promedio de partícula menor de 50 mm a 70 mm y está  
25 enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia; (d) clasificar la segunda corriente de hundido en una cuarta etapa de clasificación para formar una corriente de material plástico enriquecida en componentes de plástico reciclables en comparación con la segunda corriente de hundido y una corriente de biorresiduo grueso enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de hundido; y (e)  
30 combinar la corriente de biorresiduo grueso con la segunda corriente pasante para formar la corriente de biorresiduo limpia.

En otro aspecto de la invención, se proporciona un método para preparar una corriente de biorresiduo limpia a partir de una corriente de biorresiduo en bruto y una mezcla de  
35 plásticos. El método comprende: (a) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una primera etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de pasante que tiene un tamaño promedio de partícula menor de aproximadamente 25 mm a 50 mm y que está

enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en biorresiduo en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto; (b) clasificar la primera corriente pasante en una segunda etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de rechazo pasante que tiene un tamaño promedio de partícula menor de 6 mm a 15 mm y que está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la primera corriente pasante y (2) una segunda corriente de hundido enriquecida en biorresiduo en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto, en la que la primera corriente de rechazo pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos; (c) clasificar la primera corriente de hundido en una tercera etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de material plástico enriquecida en material plástico en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos de la primera corriente de material plástico tienen un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 80 mm, (2) una corriente de rechazo enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, y (3) una primera corriente de biorresiduos limpia enriquecida en biorresiduos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos contenidos en la misma tienen un tamaño promedio de partícula menor de 50 mm; (d) clasificar la primera corriente de material plástico en una cuarta etapa de clasificación para formar una segunda corriente de material plástico enriquecida en componentes de plástico reciclable en comparación con la primera corriente de material plástico y una segunda corriente de biorresiduo limpia enriquecida en biorresiduos en comparación con la primera corriente de material plástico; y (e) combinar la primera corriente de biorresiduos limpia y la segunda corriente de biorresiduos limpia para formar la corriente de biorresiduos limpia.

En otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de plásticos. El aparato comprende: (a) una primera criba de clasificación que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos en bruto para formar (1) una primera corriente de rechazo pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto, en la que la corriente pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos; (b) un separador por densidad para recibir y clasificar la primera corriente de hundido para formar una segunda corriente de rechazo y una corriente de biorresiduo intermedia en la que la

segunda corriente de rechazo tiene mayor densidad en gramos por  $\text{cm}^3$  en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente de rechazo está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia; (c) una segunda criba de clasificación que tiene un tamaño de abertura de aproximadamente 50 mm a aproximadamente 70 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos intermedia para formar una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante, en la que la segunda corriente de hundido está enriquecida en plástico en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente pasante está enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia; (d) un clasificador óptico para recibir y clasificar la segunda corriente de hundido para formar una primera corriente de clasificación óptica enriquecida en componentes de plástico reciclable en comparación con la segunda corriente de hundido y una segunda corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de hundido; y (e) en la que la segunda corriente de clasificación óptica y la segunda corriente pasante se combinan para formar la corriente de biorresiduo limpia.

En otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de plásticos. El aparato comprende: (a) una primera criba de clasificación que tiene aberturas de aproximadamente 25 mm a aproximadamente 50 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos en bruto para formar (1) una primera corriente pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en compuestos de biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto; (b) una segunda criba de clasificación que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm para recibir y clasificar la primera corriente pasante para formar (1) una segunda corriente de rechazo pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la primera corriente pasante y (2) una segunda corriente de hundido enriquecida en biorresiduos en comparación con la primera corriente pasante, en la que la segunda corriente pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos; (c) un separador por rayos X para recibir y clasificar la primera corriente de hundido para formar (1) una primera corriente de separación por rayos X enriquecida en material plástico en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos de la corriente de separación por rayos X tienen un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 80 mm, (2) una segunda corriente de separación por rayos X enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, y (3) una corriente de

biorresiduos limpia que comprende al menos una corriente de separación por rayos X enriquecida en biorresiduos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y una segunda corriente de hundido, en la que los objetos contenidos en la misma tienen un tamaño promedio de partícula menor de 50 mm; y (d) un clasificador óptico para recibir y clasificar la primera corriente de separación por rayos X para formar una primera corriente de clasificación óptica enriquecida en componentes de plástico reciclable en comparación con la segunda corriente de hundido y una segunda corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de hundido. La al menos una corriente de separación por rayos X enriquecida en biorresiduos y la segunda corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos se combinan para formar la corriente de biorresiduos limpia.

### **Breve descripción de los dibujos**

15 La Figura 1 es un diagrama de flujo de proceso de un primer aspecto de la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama de flujo de proceso de un segundo aspecto de la presente invención.

20

La Figura 3 es un diagrama de flujo de proceso de un tercer aspecto de la presente invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de proceso de un cuarto aspecto de la presente invención.

25

La Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso de un quinto aspecto de la presente invención.

30 La Figura 6 es un diagrama de flujo de proceso de un sexto aspecto de la presente invención.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un séptimo aspecto de la presente invención.

35

### **Descripción detallada**

En la presente invención se proporciona un procedimiento integrado para clasificar residuos sólidos que comprende combinaciones de técnicas de fraccionamiento que incluyen, pero sin limitación, separación manual, separación según el tamaño del material, separación según la densidad del material, separación según la dimensión del material, separación según las propiedades ópticas del material, y separación según propiedades de absorción de rayos X del material. El procedimiento proporciona la generación eficaz de varias corrientes recuperadas de alto valor para su reciclado y conversión en productos de valor superior incluyendo (1) biorresiduos limpios que son adecuados para la producción de glucosa, (2) corrientes recuperadas para reciclado que incluyen la clasificación de plásticos, papel, cartón, cartones de bebidas, vidrio y/o metales, (3) combustible derivado de residuos, (4) preparación opcional de productos de fermentación a partir de glucosa, y (5) preparación opcional de gas de síntesis a partir de una o más corrientes ricas en compuestos orgánicos aislados.

Más particularmente, los aparatos, métodos y procedimientos de la presente invención proporcionan una clasificación eficaz de RSU para proporcionar una corriente de biorresiduos limpia de alta pureza que comprende celulosa y bajas concentraciones de inhibidores enzimáticos y de la fermentación, como arcilla y sales inorgánicas, que es adecuada para su conversión en monosacáridos y productos de fermentación opcionales a una tasa y rendimiento comercial aceptable. La presente invención proporciona además corrientes de plásticos reciclables que se clasifican según el tipo de plástico, tal como el polietilentereftalato ("PET"), polietileno de alta densidad ("PEAD") y poli(cloruro de vinilo) ("PVC"). La presente invención proporciona también adicionalmente un combustible sólido residual ("CSR") que tiene un valor calórico de al menos 17 megajulios por kilogramo que es adecuado para usar como fuente de energía en calderas de generación de vapor y hornos de producción de cemento. La presente invención proporciona adicionalmente la recuperación de papel y cartón adecuados para su venta como materiales desechos. La presente invención proporciona además varias corrientes enriquecidas en sustancias orgánicas adecuadas para su conversión en productos secundarios mediante gasificación.

Como se usa en el presente documento, mezcla de residuos sólidos se refiere a una corriente de residuos que comprende biorresiduos (por ejemplo, residuos alimenticios y residuos de jardín), sustancias inorgánicas (por ejemplo, suciedad, rocas y restos de obra), plásticos mixtos (por ejemplo, al menos PET y PEAD), metales (por ejemplo, hierro, acero, aluminio, latón y/o cobre), fibra (por ejemplo, papel y cartón ("PyC")), vidrio, textiles, caucho y madera. Un ejemplo de mezcla de residuos sólidos son los RSU.

Como se usa en el presente documento, RSU se refiere a la corriente de mezcla de residuos sólidos que comprende predominantemente una mezcla de residuos urbanos y comerciales. Aunque la composición precisa de los RSU varía con la fuente, y las concentraciones e intervalos divulgados en este párrafo no deben tomarse como una limitación, los RSU comprenden de forma típica, sin limitación, los componentes detallados en la Tabla A siguiente (base húmeda):

Tabla A

Componente	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3
Fracción orgánica	30 % a 80 %	35 % a 75 %	40 % a 70 %
Residuos alimentarios	5 % a 55 %	10 % a 50 %	15 % a 45 %
Residuos de jardines	2 % a 25 %	3 % a 20 %	5 % a 15 %
Metales	0,1 % a 10 %	0,5 % a 5 %	1 % a 3 %
Plásticos	3 % a 30 %	5 % a 25 %	10 % a 20 %
PET	0,1 % a 5 %	0,5 % a 3 %	1 % a 2 %
PEAD	0,1 % a 5 %	0,3 % a 3 %	0,5 % a 1,5 %
Vidrio	1 % a 10 %	2 % a 8 %	3 % a 6 %
Caucho, cuero, textiles	1 % a 20 %	3 % a 15 %	6 % a 11 %
Material inorgánico	0,1 % a 20 %	0,5 % a 15 %	1 % a 12 %
Material combustible (por ejemplo, madera)	5 % a 35 %	10 % a 30 %	15 % a 25 %

10

La mezcla de residuos sólidos y RSU se puede caracterizar adicionalmente como una mezcla de (i) componentes bidimensionales como papel, cartón, película plástica y al menos una parte de la mezcla de componentes metálicos y (ii) objetos tridimensionales tales como botellas, latas, cartones de bebidas, material inorgánico, vidrio, al menos una parte de la mezcla de componentes metálicos, y una parte predominante de la fracción orgánica.

15

Como se usa en el presente documento, "biorresiduos" se refiere a una corriente fraccionada enriquecida en material orgánico adecuado para su conversión a monosacáridos tales como, por ejemplo, glucosa y/o xilosa. El material orgánico incluye, pero no se limita a, almidón, celulosa, lignocelulosa y hemicelulosa. Los biorresiduos se caracterizan por comprender al menos un 30 % en peso, al menos un 35 % en peso, al menos un 40 % en peso, al menos un 45 % en peso, al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 65 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 85 % de material orgánico (es decir, "contenido orgánico"), y sus intervalos, tales como de aproximadamente 50 a aproximadamente 85 % en peso, o de aproximadamente 60 a aproximadamente 80 % en peso de material orgánico.

20

25

Como se usa en el presente documento, "predominante", "que comprende predominantemente" y "sustancial" se definen como al menos un 50 %, al menos un 75 %, al menos un 90 %, al menos un 95 % o al menos un 99 % como % p/p, % p/v o % v/v.

5 Como se usa en el presente documento, "material reciclable" se refiere a los componentes de la mezcla de residuos que tienen valor e incluyen, pero sin limitación, papel, cartón, metales, vidrio, cartones de bebidas, plástico, y sus combinaciones.

10 Como se usa en el presente documento, "enriquecido" se refiere a una corriente de proceso fraccionada o un constituyente fraccionado que tiene una concentración de un componente citado que es mayor que la concentración de dicho componente (i) en la corriente de proceso o en un constituyente a partir del cual se produce la corriente de proceso fraccionada o constituyente fraccionado o (ii) en una o más corrientes fraccionadas simultáneamente o uno o más componentes fraccionados simultáneamente.

15

En las Figuras 1 a 7 se representan gráficamente diversos aspectos no limitantes de la presente invención.

La Figura 1 representa gráficamente un primer aspecto de la presente invención donde la  
20 mezcla de residuos sólidos **1** se procesa opcionalmente mediante una etapa **5** de clasificación manual a partir de la cual se obtiene una corriente escogida que comprende uno o más materiales reciclables (por ejemplo, papel y cartón), materiales combustibles (por ejemplo, madera), residuos grandes o voluminosos y/o residuos peligrosos **2** y una corriente de alimentación en bruto **3**. La corriente de alimentación en bruto **3** se fracciona en el tromel  
25 **10** que tiene una abertura de tamiz de aproximadamente 60 mm a aproximadamente 100 mm para formar una corriente pasante **12** enriquecida en material fino en comparación con la corriente de alimentación en bruto **3** y una corriente de hundido **11**. La corriente pasante **12** está enriquecida en material orgánico e inorgánico comparada con la corriente de hundido **11**. La corriente de hundido **11** se fracciona en un tromel **20** que tiene aberturas de  
30 aproximadamente 170 mm a aproximadamente 380 mm para formar una corriente pasante **21** y una corriente de hundido **25**. En algunos aspectos de la presente invención, el tromel **20** comprende un tamiz en dos etapas con una primera sección que tiene aberturas de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 230 mm y una segunda etapa que tiene aberturas de aproximadamente 320 mm a aproximadamente 380 mm. En algunos aspectos  
35 adicionales de la presente invención, el tromel **20** comprende dos tromeles monoetapa dispuestos en serie con un primer tromel que tiene aberturas de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 230 mm y un segundo tromel que tiene aberturas de aproximadamente

320 mm a aproximadamente 380 mm. En dicha disposición del tromel en dos etapas o de monoetapa en serie, la primera y segunda corrientes pasantes (representadas colectivamente como **21**) y la primera y segunda corrientes de hundidos se generan en la que la primera corriente de hundido se tamiza para formar la segunda corriente pasante y la

5 segunda corriente de hundido se representa gráficamente como la corriente **25** en la Figura **1**. La corriente de hundido **25** se procesa opcionalmente de forma manual en una etapa de clasificación **200** de la que se obtiene una corriente escogida que comprende material reciclable como papel, cartón, cartones de bebidas, vidrio y plásticos **201** y una corriente de combustible derivado de residuo ("CDR") **202** enriquecida en componentes combustibles. La

10 corriente pasante **21** está enriquecida en material rodante comparada con la corriente de hundido **25**. Cuando el tromel **20** es un tromel de dos etapas o tromeles monoetapa secuenciales, la corriente pasante que atraviesa las aberturas de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 230 mm está enriquecida en botellas en comparación con la corriente pasante que atraviesa las aberturas de aproximadamente 320 mm a aproximadamente 380

15 mm, y la corriente pasante que atraviesa las aberturas de aproximadamente 320 mm a aproximadamente 380 mm está enriquecida en residuos en bolsas en comparación con la corriente pasante que atraviesa las aberturas de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 230 mm. En aspectos opcionales de la presente invención (no representados gráficamente en la Figura **1**), la corriente pasante de 320-380 mm se puede

20 procesar opcionalmente en un aparato de abertura de bolsas antes de pasar a procesamiento posterior. La corriente pasante o las corrientes pasantes combinadas **21** se fracciona(n) mediante separación balística **100** para formar una corriente de material rodante **101**, una corriente de material fino **102** y una corriente de materiales planos **105**. En comparación con la corriente pasante **21**, la corriente de material rodante **101** está enriquecida en botellas y

25 latas, la corriente de material fino **102** está enriquecida en compuestos orgánicos e inorgánicos, y la corriente de materiales planos **105** está enriquecida en papel y cartón. La corriente de material fino **102** se combina con la corriente pasante **12** para formar la corriente de biorresiduos celulósicos en bruto **15**.

30 Como referencia adicional a la Figura **1**, La corriente de biorresiduos celulósicos en bruto **15** se fracciona en un tromel **30** que tiene aberturas de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 20 mm para formar una corriente pasante **31** y una corriente de hundido **35**. La corriente pasante **31** comprende predominantemente material inorgánico y material orgánico, donde el material inorgánico está en exceso. En algunos aspectos de la presente

35 invención, la corriente pasante **31** se purga del proceso. La corriente de hundido **35** está enriquecida en material orgánico tal como celulosa, hemicelulosa y almidón, pero adicionalmente comprende alguna cantidad de materiales inorgánicos y material reciclable

- que comprende plástico. La corriente de hundido **35** se fracciona mediante separación por densidad **150** para formar una corriente de material denso **151** enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de hundido **35** y una corriente de materiales ligeros **155** enriquecida en material orgánico en comparación con la corriente de hundido **35**.
- 5 La corriente de materiales ligeros **155** se fracciona en un tromel **40** que tiene aberturas de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 30 mm para formar una corriente de biorresiduos limpia **45** y una corriente de hundido **41**. La corriente de hundido **41** se fracciona mediante clasificación óptica **170** para recuperar la corriente rica en material orgánico **171** y una corriente reciclada **175** que está enriquecida en material reciclable que
- 10 comprende plástico. El tamaño de partícula de la corriente rica en material orgánico **171** se reduce en un molino **180** para formar la corriente de biorresiduos **181** que se combina con la corriente de biorresiduos limpia **45** para formar una corriente de biorresiduos limpia **47** para su conversión en monosacáridos.
- 15 Como referencia adicional a la Figura **1**, la corriente de material rodante procedente de la separación balística **101** y la corriente rica en materiales reciclables **175** se fraccionan mediante clasificación óptica y clasificación manual **110** para formar una serie de corrientes recuperadas **111** incluyendo películas plásticas **112**, plástico PEAD **113**, plástico PET **114**, plástico mixto **115**, cartones de bebidas **116**, papel/cartón **117** y corriente CDR **120**. La
- 20 corriente de materiales planos por separación balística **105** se fracciona opcionalmente mediante clasificación óptica **210** para formar la corriente CDR **215** y la corriente de papel y cartón **211**. Las corrientes CDR **120**, **202** y **215** se combinan para formar la corriente CDR **205** que se procesa mediante acondicionamiento de CDR **220** descrita en el presente documento como mediante, por ejemplo, el procedimiento representado en la Figura **4**, para
- 25 generar una fuente de combustible.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la conversión de cualquiera de las diferentes corrientes de biorresiduos limpias en azúcares monosacáridos (tales como glucosa y xilosa), y opcionalmente una conversión adicional de los

30 monosacáridos en etanol, se puede llevar a cabo de acuerdo con una variedad de métodos. Por ejemplo, tal como se representa gráficamente en la Figura **1**, la corriente de biorresiduos limpia **47** se puede procesar mediante un pretratamiento a presión y temperatura elevados, tal como mediante el contacto directo con vapor o mediante calentamiento indirecto **320** para formar una corriente de biorresiduos **321** pretratada en la que (1) la biomasa

35 lignocelulósica contenida en la anterior se degrada para dar (i) celulosa y hemicelulosa al menos parcialmente a partir de la lignina aumentando de esta forma la accesibilidad de la celulosa y hemicelulosa a la hidrólisis enzimática y (ii) generar xilosa a partir de la

degradación de la hemicelulosa, (2) el almidón contenido en la anterior se gelatiniza y (3) la corriente se esteriliza. En algunos aspectos de la presente invención (no representados gráficamente en la Figura 1), antes del pretratamiento con vapor **320**, el contenido en agua de la corriente de biorresiduos limpia **47** se ajusta de aproximadamente 10 por ciento en peso ("% en peso" a aproximadamente 60 % en peso con una corriente acuosa, una corriente acuosa ácida o una corriente acuosa básica. En la hidrólisis enzimática ("HE") **330**, la corriente de biorresiduos **321** pretratada se enfría a menos de aproximadamente 60 °C y se pone en contacto con una fuente de enzimas **331** que comprende celulasa y/o hemicelulasa para formar la corriente de biorresiduos **335** hidrolizada que comprende celulasa no hidrolizada, dextrina y los azúcares monosacáridos glucosa y xilosa. Tal como se representa gráficamente en la Figura 1, la corriente de biorresiduos **335** hidrolizada se pone en contacto con una fuente de al menos un organismo de fermentación **341** en la etapa de fermentación **340** para convertir la glucosa en un producto de fermentación **345** donde la acción de la fuente de enzima genera monosacáridos fermentables. En la etapa de fermentación **340**, se generan monosacáridos adicionales mediante la hidrólisis enzimática de la celulosa que da como resultado la sacarificación y fermentación simultáneas ("SFS"). En algunos aspectos opcionales, se pueden añadir enzimas adicionales **342** durante la fermentación. En algunos aspectos de la presente invención, el organismo de fermentación es una levadura y el producto de fermentación es etanol. La conversión de la corriente de biorresiduos limpia **47** en monosacáridos y productos de fermentación no está limitada al esquema representado gráficamente en la Figura 1. La corriente de biorresiduos limpia **47** puede convertirse de forma adecuada, en su lugar, en monosacáridos y productos de fermentación de acuerdo con cualquier método incluido en el alcance de la presente invención, tal como, por ejemplo, los esquemas representados gráficamente en cualquiera de las Figuras 2 o 3.

La Figura 2 representa gráficamente un segundo aspecto de la presente invención que corresponde de manera general a la Figura 1 en lo que respecta a la clasificación manual **5** (opcional), tromel **10**, tromel **20**, separación balística **100** y clasificación manual **200** etapas de fraccionamiento y corriente de hundido **11**, corriente pasante **12**, corriente de material fino **102**, corriente de biorresiduos celulósicos en bruto **15**, corriente pasante **21**, corriente de hundido **25**, corriente de material rodante **101**, corriente de materiales planos **105**, y corriente CDR **202** enriquecida en componentes combustibles. En relación adicional a la Figura 2, la corriente de biorresiduos celulósicos en bruto **15** se fracciona en un tromel **50** que es un tromel de dos etapas que tiene una primera sección con aberturas de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 30 mm y una segunda sección que tiene aberturas de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 60 mm para formar una primera

corriente pasante **51** que atraviesa aberturas de 20 mm a 30 mm, una segunda corriente pasante **55** que atraviesa las aberturas de 40 mm a 60 mm y una corriente de hundido **56** en la que la primera corriente pasante **51** está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la segunda corriente pasante **55**. En algunos aspectos, el tromel **50** puede comprender dos tromeles de un solo tamiz dispuestos de forma secuencial. La corriente pasante **51** se fracciona en un tromel **30** que tiene aberturas de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm para formar una corriente pasante **31** y una corriente de hundido **35**. La corriente pasante **31** comprende predominantemente material inorgánico y material orgánico, donde el material inorgánico está en exceso. En algunos aspectos de la presente invención, la corriente pasante **31** se purga del proceso. La corriente de hundido **35** está enriquecida en material orgánico tal como celulosa, hemicelulosa y almidón. La corriente de hundido **35**, la corriente pasante **55** y la corriente de hundido **56** se fraccionan mediante separación por rayos X **160** para formar la corriente de biorresiduos **165** que tiene un tamaño promedio de partícula menor de aproximadamente 25 mm y las corrientes de biorresiduos **161A** y **161B**, teniendo cada una de ellas un tamaño de partícula mayor de aproximadamente 25 mm, y la corriente **162** que está enriquecida en material inorgánico si se compara con cualquiera de las corrientes **161A**, **161B** y **165**. Tal como se representa gráficamente en la Figura 6, la separación por rayos X **160** puede comprender 3 etapas de separación por rayos X, **160A** para procesar la corriente **35** para formar una corriente rica en biorresiduos **165** y una corriente rica en material inorgánico **162**, **160B** para procesar la corriente **55** para formar una corriente rica en biorresiduos **161A** y una corriente rica en material inorgánico **163**, y **160C** para procesar la corriente **56** para formar una corriente rica en biorresiduos **161B** y una corriente rica en material inorgánico **164**. El tamaño de partícula de las corrientes de biorresiduos **161A** y **161B** se reduce en un molino **180** para formar la corriente de biorresiduos **181** que se combina con la corriente de biorresiduos **165** para formar una corriente de biorresiduos limpia **185** para su conversión en monosacáridos. Cualquiera de las corrientes **162**, **163** o **164** se puede purgar del proceso, de forma opcional, o bien se puede fraccionar adicionalmente tal como mediante una etapa de clasificación óptica **110**, mediante separación por densidad (no representada gráficamente), mediante una clasificación óptica específica (no representada gráficamente), o una de sus combinaciones.

Como referencia adicional a la Figura 2, la corriente de material rodante procedente de la separación balística **101** se fracciona mediante clasificación óptica y clasificación manual **110** para formar una serie de corrientes recuperadas **111** incluyendo películas plásticas **112**, plástico PEAD **113**, plástico PET **114**, plástico mixto **115**, cartones de bebidas **116**, papel/cartón **117** y corriente CDR **120**. corriente de materiales planos procedente de la

separación balística **105** se procesa en un reactor discontinuo secuencial **240** por contacto con vapor **241** con homogeneización para formar la corriente **242** que comprende un hidrolizado parcial de al menos una parte de la materia orgánica contenida en la misma. La corriente **242** se fracciona en un tromel **250** que tiene aberturas de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm para formar una corriente pasante **255** enriquecida en componentes celulósicos y una corriente de hundido **251** enriquecida en material combustible. La corriente pasante **255** se procesa en una etapa de separación de contaminantes **260** para eliminar de la misma los componentes inertes como corriente **261** y formar una corriente rica en oligosacárido **262** para combinar con la corriente de biorresiduos limpia **185** para su conversión a monosacáridos. La etapa de separación de contaminantes **260** puede ser cualquier operación unitaria adecuada para separar y retirar componentes inertes, compuestos inorgánicos, inhibidores de la hidrólisis enzimática y/o inhibidores de la fermentación del material orgánico como celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa y almidón. En algunos aspectos de la presente invención, la etapa de separación **260** comprende de manera adecuada la formación de una suspensión acuosa de la corriente pasante **255**, triturando la suspensión, eliminando los contaminantes **261** en forma de un fango, y con deshidratación para eliminar contaminantes adicionales de la fase líquida y formar una corriente rica en oligosacárido **262**. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, la etapa de separación **260** comprende de forma adecuada una etapa de separación por vía seca donde la corriente pasante **255** se fracciona para eliminar una fracción de materia particulada fina **261** enriquecida en componentes inorgánicos (ceniza) en comparación con la corriente rica en oligosacárido **262**.

Como referencia adicional a la Figura 2, las corrientes de combustible derivado de residuo **120**, **202** y **251** se combinan para formar la corriente CDR **205** que se puede procesar mediante acondicionamiento de CDR 220 descrita en el presente documento como mediante, por ejemplo, el acondicionamiento CDR **220** representado gráficamente en la Figura 4, para generar una fuente de combustible. La corriente de biorresiduos limpia **185** y la corriente rica en oligosacárido **262** se pueden procesar opcionalmente mediante impregnación **310** para formar una corriente de biorresiduos **311** impregnada. En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la corriente de biorresiduos limpia **185** y la corriente rica en oligosacárido **262** se pueden impregnar con agua, solución ácida acuosa (por ejemplo, ácido sulfúrico) o solución básica acuosa (por ejemplo, hidróxido de amonio) hasta un contenido en agua de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 60 % en peso. La corriente de biorresiduos **311** impregnada se procesa mediante un pretratamiento con vapor a presión y temperatura elevadas **320** para formar una corriente de biorresiduos **321** pretratada en la que (1) la biomasa lignocelulósica contenida en la misma

se degrada para dar (i) celulosa y hemicelulosa al menos parcialmente a partir de la lignina aumentando de esta forma la accesibilidad de la celulosa y hemicelulosa a la hidrólisis enzimática y (ii) generar xilosa a partir de la degradación de la hemicelulosa, (2) el almidón contenido en la anterior se gelatiniza y (3) la corriente se esteriliza. En algunos aspectos de la presente invención, (i) la corriente de biorresiduos **321** pretratada se enfría de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C y (ii) el pH se ajusta, si es necesario, la hidrólisis enzimática **330**, de la corriente de biorresiduos **321** pretratada con una fuente de enzima **331** que comprende celulasa y/o hemicelulasa para formar la corriente de biorresiduos **335** hidrolizada, puesta en contacto de la misma con una fuente de al menos un organismo de fermentación **341** en la etapa de fermentación **340**, y puesta en contacto opcional con enzimas adicionales **342**, para formar un producto de fermentación **345** transcurre como se ha descrito con respecto a la Figura 1. La corriente de biorresiduos limpia **185** y la corriente rica en biorresiduos sólidos **262**, en su lugar, se puede convertir de manera adecuada en monosacáridos y productos de fermentación de acuerdo con cualquier método incluido en el alcance de la presente invención, tal como, por ejemplo, los esquemas representados gráficamente en cualquiera de las Figuras 1 (es decir, en ausencia de impregnación), y 3.

La Figura 3 representa gráficamente un tercer aspecto de la presente invención que corresponde de manera general a la Figura 2 en lo que respecta a la clasificación manual (opcional), tromel **10**, tromel **20**, tromel **50**, tromel **30**, separación balística **100**, etapas de fraccionamiento manual **200** y la corriente de hundido **11**, corriente pasante **12**, corriente de material fino **102**, corriente de biorresiduos celulósicos en bruto **15**, corriente de material rodante **101**, corriente pasante **21**, corriente de hundido **25**, corriente pasante **51**, corriente de hundido **35**, corriente de hundido **55**, corriente de materiales planos **105**, corriente pasante **31** y corriente CDR **202**. En relación adicional a la Figura 3, la corriente pasante **35** del tromel **30** se fracciona mediante separación por rayos X **160** para formar la corriente **166** donde una pluralidad de los objetos incluidos en la misma se caracterizan por tener un tamaño promedio de partícula en la dimensión más grande de menos de aproximadamente 25 mm y la corriente **162** que está enriquecida en material inorgánico en comparación con la corriente **166**. La corriente de hundido **56** se fracciona en una etapa de clasificación óptica **170** para formar la corriente de biorresiduos **171** y la corriente rica en materiales reciclables **175** en la que la corriente de biorresiduos **171** está enriquecida en compuestos orgánicos en comparación con la corriente rica en materiales reciclables **175** y la corriente rica en materiales reciclables **175** está enriquecida en material reciclable que comprende plástico en comparación con la corriente de biorresiduos **171**. La corriente de biorresiduos **171** y la corriente de hundido **55** procedentes del tromel **50** se fraccionan mediante separación por

rayos X **160** para formar la corriente rica en biorresiduos **167** en la que una pluralidad de los objetos incluidos en la misma se caracterizan por tener un tamaño promedio de partícula en la dimensión más grande de aproximadamente 25 mm a aproximadamente 80 mm y la corriente **162** que está enriquecida en material inorgánico si se compara con las corrientes

5 **167**. El tamaño de partícula de la corriente de biorresiduos **167** se reduce en una etapa de molienda **180** para formar la corriente de biorresiduos molido **181** que se combina con la corriente de biorresiduos limpia **166** para formar la corriente de biorresiduos **169** para su conversión en monosacáridos y productos de fermentación. Tal como se representa gráficamente con más detalle en la Figura 7, la separación por rayos X **160** puede

10 comprender 3 etapas de separación por rayos X, **160A** para procesar la corriente **35** para formar una corriente rica en biorresiduos **166** y una corriente rica en material inorgánico **162**, **160B** para procesar la corriente **55** para formar una corriente rica en biorresiduos **167A** y una corriente rica en material inorgánico **163**, y **160C** para procesar la corriente **171** mediante clasificación óptica para formar una corriente rica en biorresiduos **167B** y una

15 corriente rica en material inorgánico **164**. Cada una de las corrientes **167A** y **167B** tiene un tamaño promedio de partícula en la dimensión más grande mayor de aproximadamente 25 mm y se fragmenta en un molino **180** para formar la corriente de biorresiduos **181** que se combina con la corriente de biorresiduos **166** para formar una corriente de biorresiduos limpia **169** para su conversión en monosacáridos. Cualquiera de las corrientes **162**, **163** o

20 **164** se puede purgar del procedimiento, de forma opcional, o bien se puede fraccionar adicionalmente tal como mediante una etapa de clasificación óptica **110**, mediante separación por densidad (no representada gráficamente), mediante una clasificación óptica específica (no representada gráficamente), o una de sus combinaciones.

25 Como referencia adicional a la Figura **3**, la corriente de material rodante procedente de la separación balística **101** y la corriente rica en materiales reciclables **175** se fraccionan por un método correspondiente de forma general a la Figura **1** con respecto a la clasificación óptica del material rodante y la etapa de clasificación manual **110** y la etapa de clasificación óptica **201** opcional de la corriente de materiales planos balística **210** para formar las

30 corrientes recuperadas **111** incluyendo películas plásticas **112**, plástico PEAD **113**, plástico PET **114**, plástico mixto **115**, cartones de bebidas **116**, papel/cartón **117**, corriente CDR **120**, corriente CDR **215** y corriente de papel y cartón **211**. Las corrientes CDR **120**, **202** y **215** se combinan en una corriente CDR **205** que se procesa mediante acondicionamiento de CDR **220** descrita en el presente documento como mediante, por ejemplo, el acondicionamiento

35 de CDR **220** representado gráficamente en la Figura **4** para generar una fuente de material combustible.

Como referencia adicional a la Figura 3, en algunos aspectos de la presente invención, la corriente de biorresiduos 169 se combina con al menos una corriente acuosa para formar una suspensión que puede mezclar. Los componentes solubles de los biorresiduos que comprende el reparto de los azúcares monosacáridos entre la fase acuosa y la suspensión se someten a una separación sólido-líquido 300 para formar una corriente de biorresiduos líquida 301 que comprende monosacáridos solubles y una corriente de biorresiduos sólida 305 que comprende componentes insolubles de los biorresiduos que incluye celulosa, lignocelulosa, hemicelulosa y almidón. La separación sólido-líquido se puede llevar a cabo de forma adecuada mediante filtración o centrifugación. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, la corriente de biorresiduos 169 se retiene en un tamiz de filtración o tamiz centrífugo y se hace pasar un medio acuoso a través de la corriente de biorresiduos 169 para extraer de la misma los monosacáridos solubles y formar una corriente de biorresiduos líquida 301 y una corriente de biomasa sólida 305. En cualquiera de dichos aspectos, la corriente de biomasa sólida 305 se hidroliza para formar la corriente de biorresiduos pretratada 321 mediante impregnación 310 para formar la corriente de biomasa sólida impregnada 311 seguido por pretratamiento con vapor 320 (que incluye de manera opcional la puesta en contacto con una  $\alpha$ -amilasa) como se describe de forma general con respecto a la Figura 2. La corriente de biorresiduos líquida 301 se esteriliza en la operación de higienización 350 por cualquier método adecuado tal como temperatura elevada y/o luz ultravioleta y la corriente de biorresiduos líquida esterilizada 351 se combina con la corriente de biorresiduos pretratada 321. Las corrientes combinadas se ponen en contacto con una fuente de enzima 331 que comprende celulasa y/o hemicelulasa en una operación de hidrólisis enzimática 330 para formar la corriente de biorresiduos hidrolizada 335 que comprende dextrina y los azúcares monosacáridos glucosa y xilosa tal como se describe en el presente documento con respecto a las Figuras 1 y 2. La corriente de biorresiduos hidrolizada 335 se combina con una fuente de al menos un organismo de fermentación 341 en la etapa de fermentación 340, y se pone en contacto de forma opcional con enzimas adicionales 342, para convertir la glucosa en un producto de fermentación 345 tal como se describe en el presente documento con respecto a las Figuras 1 y 2.

30

La Figura 4 representa gráficamente un cuarto aspecto de la presente invención para el procesado de CDR 205 y el procesado de la corriente de biorresiduos limpia 47, la corriente de biorresiduos 169 y la corriente de biorresiduos limpia 185 para obtener un jarabe de glucosa. En el acondicionamiento de CDR 220, el tamaño de partícula de la corriente CDR 205 se reduce en una trituradora 221 para formar una corriente desmenuzada 222 que se fracciona mediante clasificación por aire 225 para formar una corriente pesada 226 enriquecida en material no combustible en comparación con la corriente ligera 227. El

35

tamaño de partícula de la corriente ligera **227**, enriquecida en material combustible en comparación con la corriente pesada **226**, se reduce en una trituradora **230** secundaria para formar un CSR **235**. De manera opcional, no representada gráficamente en la Figura **4**, el CSR **235** se puede secar para aumentar su valor calorífico y mejorar las propiedades de manipulación del material. En la conversión **400** del CSR, el CSR se utiliza como fuente de combustible en incineración e incineración simultánea, por ejemplo en calderas y hornos de producción de cemento o se puede convertir de forma adecuada en hidrocarburos de longitud variable o alcoholes mixtos con métodos de gasificación conocidos en la técnica tal como se describe en otra parte del presente documento.

10

Tal como se representa adicionalmente en la Figura **4**, cualquiera de la corriente de biorresiduos limpia **47** (Figura **1**), corriente de biorresiduos **169** (Figura **3**) o corriente de biorresiduos limpia **185** (Figura **2**), denominadas colectivamente corrientes de biorresiduos limpias, se pueden convertir en jarabe de glucosa. En una primera etapa, la corriente de biorresiduos limpia se somete a pretratamiento **360** para formar los biorresiduos pretratados **365**. El pretratamiento **360** abarca de manera general temperatura elevada y tratamiento con vapor a alta presión de un material biorresidual, y comprende adicionalmente de manera opcional la impregnación con agua, ácido o base antes del pretratamiento con vapor, tal como se describe en otra parte del presente documento como se describe con respecto a las Figura **1** a **3**. En algunos aspectos de la presente invención, los biorresiduos pretratados **365** se pueden poner en contacto con  $\alpha$ -amilasa después del enfriamiento adecuado y ajuste del pH para formar dextrina a partir de almidón gelatinizado. La hidrólisis enzimática **330** de los biorresiduos pretratados **365** mediante puesta en contacto con una fuente de enzima que comprende celulasa **331** para formar la corriente de biorresiduos hidrolizada **335** como se describe en otra parte del presente documento con respecto a las Figuras **1** a **3**. La corriente de biorresiduos hidrolizada **335** se separa en una corriente líquida **301** que comprende glucosa y una corriente de biomasa sólida **305** que comprende componentes insolubles del biorresiduo que comprenden celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, lignina y almidón. La separación se puede llevar a cabo de forma adecuada mediante filtración o centrifugación. La corriente líquida **301** se esteriliza y se concentra **370** para eliminar agua **371** y formar un jarabe de glucosa concentrado **375**. En algunos aspectos de la presente invención, la esterilización y la concentración se pueden llevar a cabo mediante destilación, tal como destilación a vacío. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, la esterilización se puede llevar a cabo por tratamiento a temperatura elevada o radiación UV, y la concentración se puede llevar a cabo mediante ósmosis inversa o cromatografía. En más aspectos adicionales de la presente invención, no representada gráficamente en la Figura **4**, la glucosa se puede separar de una mezcla de otros monosacáridos tales como

35

fructosa, xilosa, galactosa y arabinosa mediante separación cromatográfica usando una resina adecuada tal como una resina catiónica fuerte. La corriente de biomasa sólida se puede utilizar opcionalmente como fuente de combustible en incineración en incineración simultánea, por ejemplo en calderas y hornos de producción de cemento o se puede  
5 convertir de forma adecuada en hidrocarburos de longitud variable o alcoholes mixtos con métodos de gasificación conocidos en la técnica tal como se describe en otra parte del presente documento.

La Figura 5 representa gráficamente un quinto aspecto de la presente invención donde una  
10 corriente de biorresiduos sólidos mezclados **450** se fracciona para formar corrientes de rechazo **31** y **151** enriquecida en material inorgánico en comparación con la corriente de biorresiduos sólidos **450**, una corriente rica en materiales reciclables **175** enriquecida en material reciclable en comparación con la corriente de biorresiduos sólidos mezclados **450** y una corriente de biorresiduos **47** limpia. El fraccionamiento de la corriente de biorresiduos  
15 **450** con el tromel **30** y el separador de densidad **150** para generar las corrientes de rechazo **31** y **151**, la corriente de hundido **35** y la corriente de material ligero **155** tiene lugar generalmente de acuerdo con el método representado gráficamente en la Figura 1 para procesar la corriente de biorresiduos **15**. La corriente de material ligero **155** se fracciona en un tromel **60** que tiene aberturas de aproximadamente 50 mm a aproximadamente 70 mm  
20 para formar una corriente de hundido **61** enriquecida en plástico en comparación con la corriente de material ligero **155** y una corriente pasante **65** enriquecida en material orgánico en comparación con la corriente de material ligero **155**. La corriente de hundido **61** se fracciona mediante clasificación óptica **170** para recuperar la corriente rica en material orgánico **172** y una corriente reciclada **175** que está enriquecida en material reciclable. La  
25 corriente rica en material orgánico **172** y la corriente pasante **65** se fraccionan en un tromel **40** que tiene aberturas de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 40 mm para formar una corriente de hundido **41** y una corriente de biorresiduos pasante limpia **45**. El tamaño de partícula de la corriente de hundido **41** se reduce en un molino **180** para formar la corriente de biorresiduos **181** que se combina con la corriente de biorresiduos **45** para formar una  
30 corriente de biorresiduos limpia **47** para su conversión en monosacáridos y, opcionalmente, productos de fermentación de acuerdo con cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la mezcla de residuos  
35 sólidos se puede preclasificar manualmente, y/o cualquiera de las diferentes corrientes fraccionadas de residuos se puede procesar adicionalmente mediante clasificación manual para recuperar objetos y materiales peligrosos, retirar objetos que pudieran dañar el equipo

de clasificación de RSU y/o recuperar objetos que sean grandes y tengan un valor de recuperación relativamente elevado. La clasificación manual se puede llevar a cabo por personal en una o más líneas de preclasificación tal como contar el residuo en una cinta transportadora de clasificación en la que los objetos preclasificados se identifican y se retiran. Los ejemplos de objetos clasificados manualmente incluyen residuos electrónicos, acero estructural, neumáticos y llantas, recipientes que comprenden compuestos a presión (por ejemplo, propano), bloques de hormigón, rocas grandes, palés, cartón, escayola, y similares. Además, los residuos peligrosos como recipientes de disolventes y sustancias químicas, botes de pintura y baterías se retira preferentemente antes del fraccionamiento para evitar la contaminación de los biorresiduos y otros materiales de la mezcla de residuos.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la mezcla de residuos sólidos, sometida de manera opcional a una etapa de preclasificación manual, se puede fraccionar mediante separación por tamaño (por ejemplo, cribado) para formar al menos tres corrientes residuales dimensionadas que comprende una primera corriente pasante enriquecida en biorresiduos en comparación con la mezcla de residuos sólidos, una segunda corriente pasante enriquecida en material rodante en comparación con la mezcla de residuos sólidos y una corriente de hundido enriquecida en papel y cartón en comparación con la mezcla de residuos sólidos. Los dispositivos de cribado adecuados incluyen tromeles rotatorios, tamices de disco, tamices vibratorios, y tamices oscilantes.

Normalmente, cada etapa de fraccionamiento por tamaño está asociada a un tamaño de corte donde las partículas fraccionadas se caracterizan por una distribución de las partículas. En el caso del fraccionamiento por tamaño, la distribución frecuentemente incluye un número de partícula u objetos por encima o por debajo de un corte concreto, tal como un tamiz que tiene un tamaño de abertura fijo, tal como 10 mm, 25 mm, 80 mm, 200 mm o 350 mm. Salvo que se especifique otra cosa, un número de corte (por ejemplo, 80 mm) significa de manera general que al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 85 % en peso, al menos un 95 % en peso, al menos un 95 % en peso o al menos un 99 % en peso de las partículas o componentes tienen un tamaño mayor que el número de corte (en el caso de una corriente de hundido) y al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 85 % en peso o al menos un 90 % en peso, al menos un 95 % en peso o al menos un 99 % en peso de las partículas o componentes tienen un tamaño menor que el número de corte (en el caso de una corriente pasante). Dicho de otra forma, un tamaño promedio de partícula se refiere a una distribución por tamaño de partícula donde al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 85 % en peso o al menos un 90 % en peso, al menos un 95 % en peso o al menos un 99 % en peso de las partículas o

componentes atraviesan un tamiz que tiene un tamaño de abertura específico. En otra caracterización del fraccionamiento por tamaño, las corrientes residuales dimensionadas tienen una distribución de tamaños con una relación entre las partículas pequeñas y las partículas grandes, es decir, la relación entre las partículas por encima del corte y las partículas por debajo del corte, de menos de 25, menos de 20, menos de 15, menos de 10, menos de 8, menos de 6, o menos de 4. En el caso del fraccionamiento por densidad o configuración espacial (forma), la distribución frecuentemente incluye un número de partícula u objetos por encima o por debajo de un corte concreto, es decir, densidad o forma (bidimensional o tridimensional). Salvo que se especifique otra cosa, un número de corte por densidad significa que el menos un 50 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 90 % en peso, tal como de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 75 % en peso, de las partículas o componentes tienen una densidad mayor que el número de corte (en el caso de una corriente de hundido) y al menos un 50 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 90 % en peso, tal como de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 75 % en peso, de las partículas o componentes tienen una densidad menor que el número de corte (en el caso de una corriente pasante).

20

En algunos aspectos de la presente invención, se utilizan en serie un primer tamiz y un segundo tamiz para formar al menos tres corrientes residuales fraccionadas según el tamaño. En dichos aspectos, el tamaño de abertura del primer tamiz es de aproximadamente 60 mm, aproximadamente 70 mm, aproximadamente 80 mm, aproximadamente 90 mm o aproximadamente 100 mm, y sus intervalos, tales como de aproximadamente 60 mm a aproximadamente 100 mm o de aproximadamente 70 mm a aproximadamente 90 mm. El tamaño de abertura del segundo tamiz es de aproximadamente 170 mm, aproximadamente 180 mm, aproximadamente 190 mm, aproximadamente 200 mm, aproximadamente 210 mm, aproximadamente 220 mm, aproximadamente 230 mm, aproximadamente 240 mm, aproximadamente 250 mm, aproximadamente 260 mm, aproximadamente 270 mm, aproximadamente 280 mm, aproximadamente 290 mm, aproximadamente 300 mm, aproximadamente 310 mm, aproximadamente 320 mm, aproximadamente 330 mm, aproximadamente 340 mm, aproximadamente 350 mm, aproximadamente 360 mm, aproximadamente 370 mm, o aproximadamente 380 mm, y sus intervalos, tales como de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 380 mm o de aproximadamente 200 mm a aproximadamente 350 mm. En dichos aspectos, se obtienen las corrientes pasantes del primer tamiz y el segundo tamiz y una corriente de hundido del

35

segundo tamiz.

En algunos aspectos adicionales de la presente invención, el primer tamiz descrito anteriormente se utiliza en serie con un segundo tamiz y un tercer tamiz para obtener al menos cuatro corrientes residuales fraccionadas según el tamaño. La corriente de hundido del primer tamiz se fracciona con el segundo tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 170 mm, aproximadamente 180 mm, aproximadamente 190 mm, aproximadamente 200 mm, aproximadamente 210 mm, aproximadamente 220 mm, o aproximadamente 230 mm, y sus intervalos, tales como de aproximadamente 170 mm a aproximadamente 230 mm, o de aproximadamente 190 mm a aproximadamente 210 mm, para formar una segunda corriente pasante y una segunda corriente de hundido en la que (1) la segunda corriente pasante está enriquecida en material rodante en comparación con la primera corriente de hundido y (2) la segunda corriente de hundido está enriquecida en materiales planos en comparación con la segunda corriente pasante. La segunda corriente de hundido se fracciona con el tercero que tiene aberturas de aproximadamente 320 mm, aproximadamente 330 mm, aproximadamente 340 mm, aproximadamente 350 mm, aproximadamente 360 mm, aproximadamente 370 mm, o aproximadamente 380 mm, y sus intervalos, tales como de aproximadamente 320 mm a aproximadamente 380 mm, o de aproximadamente 340 mm a aproximadamente 360 mm, para formar una tercera corriente pasante y una tercera corriente de hundido en la que (1) la tercera corriente pasante está enriquecida en residuos en bolsas en comparación con la tercera corriente de hundido y (2) la tercera corriente de hundido está enriquecida en materiales planos en comparación con la segunda corriente de hundido. En dichos aspectos de la presente invención, la tercera corriente pasante se procesa preferiblemente en un aparato de abertura de bolsas para liberar el componente incluido en su interior para fraccionamiento adicional.

En algunos aspectos de la invención, se utilizan tamices de tipo tromel rotatorio. Un tamiz de tipo tromel rotatorio comprende normalmente un tambor cilíndrico perforado o un bastidor cilíndrico que sujeta un tamiz perforado. El tromel se puede elevar de forma adecuada en un ángulo en el extremo de la alimentación o en el extremo de la descarga, o puede estar no elevado (es decir, plano). La separación por tamaños se consigue a medida que el material alimentado se mueve en espiral o de otra forma a medida que avanza en el interior del tambor/tamiz rotatorio, donde el material de tamaño inferior al de las aberturas del tamiz atraviesa el tamiz como fracción pasante y el material de tamaño superior al de las aberturas del tamiz queda retenido si se desplaza hacia adelante como fracción de hundido. Para el componente de tambor, se puede utilizar opcionalmente un tornillo interno cuando la disposición del tambor es plana o elevada en un ángulo inferior a aproximadamente 5°. El

tornillo interno facilita el movimiento de los objetos por el interior del tambor forzándolos a un movimiento en espiral. Cualquiera de los diferentes diseños de tromel conocidos en la técnica es adecuado para llevar a la práctica los diferentes aspectos de la presente invención. Por ejemplo, se puede utilizar un tromel que tenga dos o más tamices concéntricos con el tamiz más grueso situado en la sección más interna. Como alternativa, los tromeles se pueden disponer en serie de forma que el material pasante y/o de hundido que salgan de un primer tromel se pueden alimentar posteriormente a un segundo tromel o una serie de tromeles. Aún de forma alternativa, se puede utilizar un tromel que tenga al menos dos secciones con tamaños de abertura diferentes, estando dispuesto opcionalmente dicho tromel en serie con uno o más tromeles adicionales como se ha descrito anteriormente. El tamiz de tipo tromel puede tomar diferentes configuraciones. Los tamices pueden ser de forma adecuada placas perforadas o tamices de malla donde las aberturas pueden tener tanto forma cuadrada como forma redonda.

La optimización del tamiz se puede basar en una o más de las siguientes variables: (1) la dimensión necesaria del producto pasante, (2) la superficie de abertura donde una abertura cuadrada proporciona una superficie mayor que una abertura redonda que tenga el mismo diámetro que la longitud de la abertura cuadrada, (3) el grado de agitación del material, (4) la velocidad de rotación del tromel, (5) la velocidad de alimentación, (6) el tiempo de residencia del material, (7) el ángulo de inclinación del tambor, (8) el número y tamaño de aberturas del tamiz, y (9) las características de la alimentación.

Las corrientes pasantes enriquecidas en material rodante se fraccionan para separar el material fino incluido, componentes bidimensionales (por ejemplo papel y cartón ("PyC")) y componentes tridimensionales (por ejemplo, material rodante) formando de esta manera una corriente de material fino, una corriente de material rodante y una corriente de materiales planos en la que la corriente de material fino está enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de material rodante y la corriente de materiales planos, la corriente de material rodante está enriquecida en plástico en comparación con la corriente de material fino y la corriente de material rodante, y la corriente de materiales planos está enriquecida en PyC en comparación con la corriente de material fino y la corriente de material rodante.

El fraccionamiento de cualquiera de las diferentes corrientes de proceso tales como las corrientes pasantes, las corrientes que comprenden una mezcla de objetos bidimensionales y tridimensionales, y/o las corrientes que comprenden componentes finos pesados, se puede conseguir por cualquiera de las diferentes técnicas de separación por densidad

conocidas en la técnica tal como los separadores balísticos o los separadores mediante aire (por ejemplo, separadores por aire lineales (separadores neumáticos tipo windshifters) y separadores por aire rotatorios).

- 5 En algunos aspectos de la presente invención, el fraccionamiento de las corrientes pasantes enriquecidas en material rodante se lleva a cabo mediante separación balística con cribado. Por lo general, la separación balística con cribado separa corrientes de alimentación en función de sus propiedades de tamaño, densidad y forma para formar una primera fracción que comprende objetos rodantes (por ejemplo, recipientes, botellas de plástico, piedra,
- 10 botes y algunos objetos metálicos), una segunda fracción que comprende materiales planos (planares) y ligeros (por ejemplo películas, textiles, papel y cartón), y una tercera fracción tamizada de material fino (por ejemplo, material orgánico, alimentos y arena). Dichos separadores balísticos comprenden por lo general una rampa en pendiente ascendente desde el extremo de la alimentación hasta el extremo de descarga y adicionalmente incluyen
- 15 un transportador perforado. A medida que el material se transporta, el material rodante va girando en dirección al punto de menor elevación en el extremo de la alimentación y conforma la fracción de material rodante, los elementos de material fino atraviesan el tamiz y constituyen la fracción de material fino, y los elementos planos y ligeros se transportan hasta la salida para formar la corriente de materiales planos. De manera opcional se puede
- 20 insuflar aire desde el extremo de la alimentación hasta el extremo de descarga para mejorar la eficacia de separación de los materiales planos y el material rodante, y el transportador se puede hacer vibrar u oscilar, de manera opcional, para mejorar la eficiencia de separación de material fino.
- 25 La optimización de la separación balística se puede basar en una o más de las siguientes variables: (1) el tamaño de partícula deseado del material fino, (2) la ubicación de la alimentación sobre la cinta transportadora, (3) la velocidad de alimentación, (4) el tiempo de residencia del material, (5) el ángulo de inclinación de la cinta transportadora, (6) el número y tamaño de aberturas del tamiz, (7) las características de la alimentación, (8) la velocidad
- 30 del aire y (9) el grado de vibración u oscilación.

En algunos aspectos de la presente invención, la abertura de las perforaciones del tamiz balístico (aberturas) pueden adecuadamente ser de aproximadamente 100 mm, aproximadamente 90 mm, aproximadamente 80 mm, aproximadamente 70 mm, o

35 aproximadamente 60 mm, y sus intervalos, tal como de aproximadamente 60 mm a aproximadamente 100 mm. Las aberturas pueden tener tanto forma cuadrada como forma redonda. En algunos aspectos de la presente invención, el tamaño de la abertura es de

aproximadamente 80 mm, el material fino es una corriente pasante de 80 mm caracterizada por tener un contenido en sustancias orgánicas de al menos un 40 % en peso, al menos 50 % en peso o al menos 60 % en peso. La corriente de material rodante se caracteriza por un componente de vidrio y un componente de plástico mixto que comprende PET y PEAD.

5 El material rodante puede comprender además una mezcla de metales incluyendo aluminio, latón, cobre, hierro y acero. La corriente de materiales planos se caracteriza por un componente PyC. En algunos aspectos, la corriente de materiales planos se caracteriza adicionalmente por tener un componente combustible, CDR, que tiene un valor calorífico de al menos aproximadamente 15, 16 o 17 megajulios por kilogramo en base seca

10 (aproximadamente 7500 Btu por libra).

En algunos aspectos de la invención, la primera corriente de biorresiduos pasante (es decir, el material pasante del primer tamiz de 60 mm a 100 mm) se combina con la corriente de material fino procedente de la separación balística enriquecida en biorresiduos separados de

15 la corriente de material rodante para formar una corriente de biorresiduo en bruto combinada. La corriente de biorresiduo en bruto se caracteriza por un contenido en materia orgánica de al menos un 30 % en peso, un contenido en materia inorgánica de al menos un 20 % en peso, y cantidades menores de plástico mixto, papel, vidrio y mezcla de metales. La corriente de biorresiduo en bruto se puede fraccionar por varios métodos comprendidos en

20 el ámbito de la presente invención tal como se describe en el presente documento para formar una corriente de biorresiduos limpia para su conversión en monosacáridos, una corriente rica en material inorgánico para su eliminación, y varias corrientes de plástico, vidrio, papel y metal para fraccionamiento adicional.

25 En un primer aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, la corriente de biorresiduo en bruto se fracciona con un tamiz tal como se describe en otra parte del presente documento y que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm, de aproximadamente 8 mm a aproximadamente 12 mm, o de aproximadamente 10 mm para formar (i) una corriente pasante que tiene un contenido en

30 material inorgánico de al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso, o al menos un 60 % en peso, tal como aproximadamente un 65 % en peso y un contenido en materia orgánica de menos de 50 % en peso, menos de 45 % en peso o menos de 40 % en peso, tal como aproximadamente 35 % en peso y (ii) una corriente de biorresiduo en bruto de hundido que tiene un contenido en materia orgánica de al menos un 40 % en peso, al menos un

35 45 % en peso, al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso o al menos un 60 % en peso y que tiene un tamaño promedio de partícula de entre aproximadamente 5 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 10 mm y aproximadamente 80 mm, o

entre aproximadamente 15 mm y aproximadamente 80 mm, y que comprende además un componente reciclable que comprende plástico. La corriente pasante rica en material inorgánico se puede purgar del proceso de forma opcional.

5 En estos aspectos de la invención, la corriente de biorresiduo en bruto de hundido se puede procesar mediante separación por densidad formar una segunda corriente de rechazo densa y una corriente de biorresiduo intermedia. La segunda corriente de rechazo está enriquecida en compuestos inorgánicos, vidrio y metal, y tiene una densidad elevada en gramos por centímetro cúbico, en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia. La segunda  
10 corriente de rechazo se puede purgar del procedimiento, o bien se puede procesar adicionalmente para la recuperación del metal, vidrio y/o compuestos orgánicos incluidos mediante cualquiera de los diferentes métodos descritos en el presente documento. Los métodos de separación por densidad adecuados son conocidos en la técnica e incluyen, sin limitación, separadores de aire como separadores por aire lineales (windshifter en inglés)  
15 disponibles, por ejemplo, de Nihot) y separadores por aire rotatorios. Estos separadores por aire lineales separan una corriente de alimentación en fracciones ligera y pesada donde los materiales ligeros se separan de los materiales pesados en una unidad de separación con control del flujo de aire. Los materiales ligeros se separan de la corriente de aire en la unidad de separación y se transportan fuera de la unidad de separación y la fracción pesada  
20 queda retenida en la unidad de separación. La eficacia de separación varía con la composición de la corriente de alimentación, pero típicamente de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 80 % en peso o de aproximadamente 75 % en peso a aproximadamente 85 % en peso del material inerte (por ejemplo, material inorgánico) se separa de la fracción pesada y al menos un 95 % en peso o al menos un 98 % en peso del  
25 papel y el cartón se separa de la fracción ligera. La separación por aire rotatoria comprende un equipo que tiene una abertura provista de manguito a través de la cual se insufla aire, estando rodeado el manguito por un tamiz de forma cilíndrica que gira pasada la abertura. El material a separar se deposita sobre el tamiz en la zona de la abertura del manguito, y el material fino se arrastra a través del tamiz como una corriente pasante (según lo permita el  
30 tamaño de la abertura del tamiz) y se transporta mediante el flujo de aire a un primer punto de recogida. El material de hundido se arrastra al tamiz y se transporta por el tamiz más allá del manguito hasta el lado opuesto del separador donde se recoge en un segundo punto de recogida. El material de hundido denso (como la gravilla) no se transporta por el tamiz, sino que en su lugar se cae del tamiz en el lado de la alimentación del equipo y se recoge en un  
35 tercer punto.

En estos aspectos de la invención, la fracción de biorresiduos intermedia es la fracción

ligera, donde la fracción ligera se fracciona con un tamiz tal como se describe en otra parte del presente documento y que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 30 mm, tal como aproximadamente 25 mm para formar (i) una corriente de biorresiduos pasante limpia que tiene un contenido en materia orgánica de al menos un 5 65 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 75 % en peso o al menos un 80 % en peso, tal como de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 85 % en peso o de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 80 % en peso y que tiene un tamaño promedio de partícula menor de aproximadamente 25 mm, y (ii) una corriente de biorresiduo en bruto de hundido que comprende material orgánico y está enriquecida en 10 material reciclable (por ejemplo, papel, cartón, metales, vidrio, plástico, y sus combinaciones) en comparación con la corriente de biorresiduos limpia.

En estos aspectos de la invención, la corriente de biorresiduo en bruto de hundido se puede clasificar mediante clasificación óptica y/o clasificación mediante rayos X para recuperar una 15 corriente enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto de hundido y una corriente recuperada enriquecida en plástico en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto de hundido.

Los clasificadores ópticos son conocidos en la técnica e incluyen, pero sin limitación, 20 clasificadores de infrarrojo cercano (NIR) y de cámara de color. Por ejemplo, en una realización, el clasificador óptico puede funcionar realizando un barrido de la corriente de residuo intermedio en caída libre mediante un sensor de cámara. Otros clasificadores ópticos utilizan el infrarrojo cercano y otras tecnologías de barrido para separar los materiales deseados de las corrientes mixtas. En algunos aspectos de la invención, las 25 corrientes de plásticos mixtos se pueden clasificar por el tipo de plástico sobre la base del principio de reacción de los electrones en el material de los objetos a analizar bajo la luz infrarroja, donde las moléculas en el objeto a analizar reaccionan con la luz infrarroja con un modelo de excitación electrónica característico de la composición del material. El detector infrarrojo y el ordenador asociado leen e interpretan el modelo, asignan un tipo de material 30 (por ejemplo, plástico PEAD, PET o PVC) en función de la interpretación, y clasifican (separan) los objetos en base del tipo de material. En algunos aspectos, un sensor (como una cámara o sensor luminoso) detecta una señal característica del material a separar y transmite las señales de detección a un sistema informático donde las señales se analizan y ejecutándose un algoritmo en el sistema informático para determinar la composición relativa 35 o identificar el material con respecto a una composición o valor relativo preconfigurado. El sistema informático transmite una señal de salida para activar chorros de aire para eyectar rápidamente el material mientras está en caída libre. Cualquier número de clasificadores

ópticos se puede utilizar en serie o en paralelo. Los fabricantes de clasificadores ópticos incluyen TiTech Pellenc, MSS, NRT, y otros.

Los sistemas de clasificación mediante rayos X se basan en la medición de las absorciones  
5 de rayos X en un material a diferentes niveles de energía con el fin de determinar la  
densidad atómica relativa del material. Más particularmente, la absorción de rayos X en un  
material es función de la densidad atómica del material y también función de la energía de  
los rayos X incidentes donde una pieza dada de material absorberá los rayos X en diferentes  
10 grados dependiendo de la energía de los rayos X incidentes. En algunos aspectos, un  
sensor de rayos X detecta una señal característica del material a separar y transmite las  
señales de detección a un sistema informático donde las señales se analizan y se ejecuta un  
algoritmo en el sistema informático para determinar la composición relativa o identificar el  
material con respecto a una composición o valor relativo preconfigurado. El sistema  
informático transmite una señal de salida para activar chorros de aire para eyectar  
15 rápidamente el material mientras está en caída libre. Esta tecnología puede evaluar el objeto  
completo y examina el objeto completo teniendo en cuenta las variaciones exteriores e  
interiores. Dichos sistemas de clasificación se describen en la patente de Estados Unidos N°  
7.564.943 y están comercialmente disponibles, tal como de National Recovery  
Technologies, LLC de Nashville, Tenn. Los clasificadores mediante rayos X se pueden  
20 utilizar en combinación con clasificadores ópticos.

En algunos sistemas de clasificación mediante absorción de rayos X, una matriz de  
detectores de rayos X de doble energía se coloca por debajo de la superficie de una cinta  
transportadora utilizada para transportar residuos mezclados a través de una región de  
25 detección situada entre una matriz de detectores y un tubo de rayos X. Las matrices de  
detectores adecuadas se pueden obtener de Elekon Industries (Torrance, Calif.) y los tubos  
de rayos X se pueden obtener de Lohmann X-ray (Leverkusen, Alemania). El tubo de rayos  
X es preferentemente una fuente de banda ancha que irradia una lámina de rayos X  
preferentemente colimados a través de la anchura de la cinta transportadora a lo largo de la  
30 matriz de detectores de rayos X de doble energía de forma que los rayos X atraviesan esta  
región detectora y la cinta transportadora antes de alcanzar los detectores. A medida que el  
material atraviesa la región de detección de rayos X, los rayos X transmitidos a su través se  
detectan mediante la matriz de detectores de rayos X de doble energía en dos niveles de  
energía diferentes. Las señales de detección se transmiten a un sistema informático y las  
35 señales se analizan ejecutándose un algoritmo en el sistema informático para determinar la  
composición relativa del material con respecto a una composición relativa preconfigurada.  
Una matriz de eyectores de aire de alta velocidad se dispone corriente abajo respecto a la

región de detección y se sitúa perpendicular a la trayectoria de los materiales descargados por el extremo de la cinta transportadora. El ordenador ejecuta el algoritmo de clasificación y selección de los materiales y, de acuerdo con los resultados derivados de la ejecución del algoritmo, las señales del sistema informático seleccionan qué eyectores de aire de la matriz de eyectores de aire se activarán y expulsarán, de esta forma, los materiales seleccionados del flujo de materiales de acuerdo con la composición relativa calculada. La secuencia de detección, selección, y eyección puede tener lugar simultáneamente en múltiples trayectorias a lo largo del ancho de la cinta transportadora de forma que se pueden analizar y clasificar al mismo tiempo múltiples muestras de material.

10

Los sistemas de clasificación óptica y los sistemas de clasificación mediante rayos X se pueden configurar para realizar un barrido de una corriente de una mezcla de residuos y determinar si el material a analizar es un tipo particular de material tal como plástico, papel, o vidrio, y recuperar (i) plástico PEAD, plástico PET, plásticos del nº 3 al 7 y/o plásticos de tipo poli(cloruro de vinilo) (PVC), (ii) vidrio y/o (iii) papel de una corriente de una mezcla de residuos que comprende partículas orgánicas y/o partículas inorgánicas. Los sistemas de clasificación óptica y los sistemas de clasificación mediante rayos X se pueden configurar adicionalmente para distinguir entre tipos de plásticos, tal como plástico PEAD, plástico PET y plástico PVC de forma que una corriente que contiene una mezcla de plásticos se puede clasificar en corrientes según el tipo de plástico. Por ejemplo, tras la detección de un material particular en una corriente de una mezcla de residuos, un sistema de clasificación óptica o un sistemas de clasificación mediante rayos X puede utilizar aire dirigido hacia las boquillas para expulsar el material buscado/identificado para producir uno o más productos reciclados tales como PET reciclable, PEAD reciclable, película plástica reciclable, plásticos del nº 3 al 7 reciclables, vidrio reciclable y/o productos de papel reciclable.

25

Más particularmente, por ejemplo, una mezcla de residuos se puede introducir en un transportador, cuya velocidad se selecciona de forma que la mezcla de residuos se lanza por el extremo del transportador. El sensor óptico o el sistema de rayos X se programa mediante un programa informático en un sistema informático para detectar la forma, tipo de material, color o niveles de translucencia de objetos particulares. Por ejemplo, el sistema informático conectado al sensor óptico o sistema de rayos X se puede programar para detectar el tipo de material plástico asociado con botellas de plástico, como PET, PEAD, y PVC. Los objetos que tienen las características de material preprogramadas se detectan mediante los sensores ópticos o el sistema de rayos X cuando atraviesan un haz de luz o de rayos X y el sistema informático conectado al sensor envía una señal que activa una boquilla de aire para eyección a alta presión. La boquilla de aire de eyección libera una corriente de

35

aire que golpea los objetos detectados de forma descendente para sacarlos de su trayectoria normal en dirección a una primera tolva y/o un primer transportador. Otros materiales y objetos continúan su desplazamiento a lo largo de la trayectoria hasta una segunda tolva y/o un segundo transportador. En algunos aspectos de la presente invención, cualquiera de las diferentes corrientes generadas en un primer sistema de clasificación óptica/rayos X se puede procesar opcionalmente en al menos un sistema de clasificación óptica/rayos X adicional para producir una cualquiera de una corriente de material plástico clasificada por tipo (por ejemplo, PET, PEAD o PCV), vidrio clasificado por color, papel. El resto de la corriente residual procedente de uno o más clasificadores ópticos/rayos X es típicamente una corriente de material particulado rico en material orgánico.

En estos aspectos de la invención, la corriente enriquecida en biorresiduos recuperada mediante clasificación óptica/rayos X de la corriente de biorresiduo en bruto de hundido tiene normalmente un tamaño promedio de partícula de entre aproximadamente 25 mm y aproximadamente 80 mm. El tamaño promedio de partícula de dicha corriente se reduce preferentemente a menor de aproximadamente 25 mm para maximizar la relación entre el área superficial y el peso para aumentar la eficacia de la hidrólisis para obtener glucosa. Se puede utilizar cualquier dispositivo de molienda adecuado, tal como una picadora, molino de martillos, trituradora, molino de cuchillas, cortadora, molino de disco, molino centrífugo o un homogeneizador. La corriente de biorresiduos molida recuperada se combina con la corriente de biorresiduos limpia y posteriormente se convierte en glucosa mediante hidrólisis.

En un segundo aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, la corriente de biorresiduo en bruto se fracciona con un tamiz como se ha descrito en otra parte en el presente documento y que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 25 mm a aproximadamente 50 mm para formar (i) una corriente primaria pasante que tiene un contenido en material inorgánico de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 40 % en peso o de aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 35 % en peso en base seca y (ii) una corriente primaria de biorresiduo en bruto de hundido que tiene un contenido en material orgánico de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 80 % en peso o de aproximadamente 65 % en peso a aproximadamente 75 % en peso en base seca, y que tiene un tamaño promedio de partícula de entre aproximadamente 25 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 30 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 35 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 40 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 45 mm y aproximadamente 80 mm, o entre aproximadamente 50 mm y aproximadamente 80 mm, y

que comprende adicionalmente material reciclable.

En dichos aspectos, la corriente primaria pasante se fracciona con un tamiz tal como se describe en otra parte del presente documento y que tiene un tamaño de malla de  
5 aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm, de aproximadamente 8 mm a aproximadamente 12 mm, o aproximadamente 10 mm para formar (i) una corriente pasante que tiene un contenido en material inorgánico de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 80 % en peso o de aproximadamente 65 % en peso a aproximadamente 75 % en peso en base seca y un contenido en material orgánico de aproximadamente 20 %  
10 en peso a aproximadamente 40 % en peso o de aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 35 % en peso y (ii) una corriente de biorresiduo en bruto de hundido que tiene un contenido en material orgánico de aproximadamente 65 % en peso a aproximadamente 90 % en peso, o de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 90 % en peso en base seca y que tiene un tamaño promedio de partícula de entre  
15 aproximadamente 5 mm y aproximadamente 50 mm, entre aproximadamente 5 mm y aproximadamente 25 mm, entre aproximadamente 10 mm y aproximadamente 50 mm, entre aproximadamente 10 mm y aproximadamente 25 mm, entre aproximadamente 15 mm y aproximadamente 50 mm, o entre aproximadamente 15 mm y aproximadamente 25 mm. La corriente rica en material inorgánico pasante se puede purgar del procedimiento.

20

En dichos aspectos, la corriente de biorresiduo en bruto de hundido y la corriente primaria de biorresiduo en bruto de hundido se fraccionan mediante clasificación óptica o de rayos X para generar al menos tres corrientes. En algunos aspectos de la presente invención, se utiliza la clasificación mediante rayos X. Dos corrientes ricas en material orgánico se forman  
25 donde una primera corriente tiene un tamaño promedio de partícula menor de 25 mm y una segunda corriente tiene un tamaño promedio de partícula mayor de 25 mm. El tamaño de partícula de la segunda corriente se reduce a menos de 25 mm en un molino como se ha descrito en otra parte en el presente documento y la primera corriente y la segunda corriente molida se combinan para formar una corriente de biorresiduos limpia para su conversión en  
30 monosacáridos, dicha corriente que tiene un contenido en material orgánico de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 75 % en peso a aproximadamente 90 % en peso. Una tercera corriente generada mediante clasificación óptica está enriquecida en material reciclable en comparación con la corriente de biorresiduos limpia. La tercera corriente se puede purgar del procedimiento, de forma  
35 opcional, o se puede fraccionar adicionalmente tal como mediante clasificación óptica/rayos X, separación por densidad, o una combinación de los mismos, para recuperar los componentes incluidos para su reciclado o procesado adicional.

En parte del segundo aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, una corriente de biorresiduo en bruto se fracciona en un esquema de tamiz en dos etapas a través de un primer tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 20 mm a

5 aproximadamente 30 mm, tal como aproximadamente 25 mm, y a través de un segundo tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 60 mm, tal como aproximadamente 50 mm, para formar una primera corriente pasante que atraviesa las aberturas de 20 mm a 30 mm, una segunda corriente pasante que atraviesa las aberturas de 40 mm a 60 mm y una corriente de hundido en la que la primera corriente pasante está

10 enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la segunda corriente pasante. La primera corriente pasante se fracciona en un tromel que tiene aberturas de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm, tal como aproximadamente 10 mm para formar una corriente pasante que comprende predominantemente material inorgánico y una corriente de hundido enriquecida en material orgánico tal como celulosa, hemicelulosa y

15 almidón, en comparación con la corriente pasante. La corriente pasante de -5 mm a -15 mm se puede purgar del procedimiento, de forma opcional, a un vertedero, o se puede procesar adicionalmente para fraccionar y retirar diferentes componentes. La corriente de hundido de +5 mm a +15 mm se procesa en una primera etapa de separación por rayos X para formar una primera corriente de rechazo de la separación por rayos X enriquecida en componentes

20 inorgánicos y una primera corriente de biorresiduos limpia enriquecida en componentes orgánicos en la que la primera corriente de biorresiduos limpia se caracteriza por un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 30 mm o de aproximadamente 10 mm a aproximadamente 25 mm. La segunda corriente pasante que atraviesa un tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 60

25 mm se procesa en una segunda etapa de separación por rayos X para formar una segunda corriente de rechazo de la separación por rayos X enriquecida en componentes inorgánicos y una segunda corriente de biorresiduos limpia enriquecida en componentes orgánicos en la que la segunda corriente de biorresiduos limpia se caracteriza por un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 60 mm o de aproximadamente 25

30 mm a aproximadamente 50 mm. En una primera opción, la corriente de hundido procedente del tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 60 mm se procesa en una tercera etapa de separación por rayos X para formar una tercera corriente de rechazo de la separación por rayos X enriquecida en componentes inorgánicos y una tercera corriente de biorresiduos limpia enriquecida en componentes orgánicos donde la

35 tercera corriente de biorresiduos limpia se caracteriza por un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 100 mm o de aproximadamente 50 mm a aproximadamente 80 mm. En una segunda opción, la corriente de hundido procedente del

tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 40 mm a aproximadamente 60 mm se procesa mediante clasificación óptica para formar una corriente rica en materiales reciclables enriquecida en plástico que se procesa adicionalmente, tal como mediante procesamiento simultáneo con la corriente de material rodante en una etapa de clasificación óptica, y una corriente de biorresiduos procedente de la clasificación óptica enriquecida en componentes orgánicos. La corriente de biorresiduos procedente de la clasificación óptica se puede procesar a continuación en una tercera etapa de separación por rayos X como se describe en el presente documento. La segunda y tercera corriente de biorresiduos limpia se fragmentan simultáneamente para reducir el tamaño promedio de partícula a menos de aproximadamente 25 mm y a continuación se combina con la primera corriente de biorresiduos limpia para formar una corriente de biorresiduos limpia para su conversión en monosacáridos. Cualquiera de la primera, segunda y tercera corriente de rechazo de la separación por rayos X se puede purgar del procedimiento, de forma opcional, o se puede fraccionar adicionalmente tal como mediante clasificación óptica, mediante separación por densidad, o una de sus combinaciones.

En un tercer aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, la tercera corriente (enriquecida en material reciclable si se compara con una corriente de biorresiduos limpia) generada mediante clasificación óptica o de rayos X como se ha descrito anteriormente en relación al segundo aspecto la presente invención, se fracciona adicionalmente mediante clasificación óptica para recuperar corrientes que comprenden una corriente rica en material orgánico y una corriente rica en materiales reciclables que está enriquecida en material reciclable. En parte de las realizaciones del tercer aspecto, papel, cartón, vidrio, metales y/o plásticos se pueden recuperar como fracciones o corrientes individuales. La corriente rica en material orgánico se caracteriza por un tamaño de partícula mayor de 25 mm, tal como de aproximadamente 25 mm a aproximadamente 80 mm. Esta corriente preferentemente se moltura como se ha descrito en otra parte del presente documento para reducir el tamaño de partícula a menos de 25 mm. La corriente, molida o no, se combina a continuación con la corriente de biorresiduos limpia para su conversión en monosacáridos. La corriente enriquecida en material reciclable, o sus fracciones individuales, se transportan hasta el fraccionamiento de material rodante por separación balística mediante clasificación óptica y clasificación manual como se ha descrito en otra parte en el presente documento para la recuperación o purificación de plásticos, metales, vidrio, papel y cartón.

En un cuarto aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, (i) la corriente de biorresiduo en bruto se fracciona con un tamiz que tiene un tamaño de

5 malla de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm para formar una corriente pasante y una corriente de biorresiduo en bruto de hundido y (ii) la corriente de biorresiduo en bruto de hundido se fracciona mediante separación por densidad para formar una segunda corriente de rechazo densa y una corriente de biorresiduo intermedia tal como se describe en el presente documento con respecto al primer aspecto de fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención. La corriente de biorresiduo intermedia se fracciona con un tamiz que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 50 mm a aproximadamente 70 mm, tal como aproximadamente 60 mm, para formar una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante en la que la segunda corriente de 10 hundido está enriquecida en material reciclable en comparación con la segunda corriente pasante y la segunda corriente pasante está enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de hundido. La segunda corriente de hundido se fracciona mediante clasificación óptica y/o clasificación por rayos X para eliminar y recuperar una corriente rica en material orgánico a partir de la segunda corriente de hundido. Las 15 corrientes de producto reciclado que comprenden plásticos, metales, vidrio, papel y/o cartón se pueden generar mediante clasificación óptica y/o clasificación por rayos X, o la segunda corriente de hundido limpia (o fracciones de la misma) se pueden transportar hasta el fraccionamiento de material rodante por separación balística mediante clasificación óptica y clasificación manual como se ha descrito en otra parte en el presente documento para la 20 recuperación o purificación de plásticos, metales, vidrio, papel y cartón. En algunos aspectos de la presente invención, se utiliza la clasificación óptica.

La segunda corriente pasante rica en biorresiduos (que tiene un tamaño promedio de partícula mayor de aproximadamente 60 mm) se combina con la segunda corriente pasante 25 (que tiene un tamaño promedio de partícula menor de aproximadamente 70 mm) para formar una corriente de biorresiduos que tiene un contenido en materia orgánica de al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso, al menos un 60 % en peso, o al menos un 65 % en peso, tal como aproximadamente 60 % en peso. Las corrientes combinadas se fraccionan con un tamiz que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 20 mm a 30 aproximadamente 30 mm, tal como aproximadamente 25 mm, para formar una corriente de biorresiduos pasante limpia y una corriente de hundido. La corriente de hundido se moltura preferentemente como se ha descrito en otra parte en el presente documento para formar una corriente de biorresiduos molida que tiene un tamaño de partícula de menos de aproximadamente 25 mm. La corriente de biorresiduos molida se combina con la corriente 35 de biorresiduos limpia para su conversión en monosacáridos.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la corriente de

- biorresiduos limpia comprende un contenido en material orgánico de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 75 % en peso a aproximadamente 90 % en peso. La corriente de biorresiduos limpia comprende un componente orgánico soluble y un componente orgánico insoluble. El componente orgánico soluble comprende de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, o de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 5 % en peso de glucano y de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 1 % en peso de xilano. El componente insoluble comprende de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 20 % en peso o de aproximadamente 8 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de glucano, de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso o de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 5 % en peso de xilano, de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 40 % en peso o de aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 35 % en peso de celulosa y de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso de lignocelulosa. La corriente de biorresiduos limpia comprende además menos de aproximadamente un 40 % en peso, menos de aproximadamente un 35 % en peso, menos de aproximadamente un 30 % en peso, menos de aproximadamente un 25 % en peso, menos de aproximadamente un 20 % en peso o menos de aproximadamente un 15 % en peso de ceniza (material inorgánico).
- En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la corriente de material rodante se fracciona mediante clasificación óptica y/o separación por rayos X como se ha descrito en otra parte en el presente documento, opcionalmente con la combinación adicional de al menos una etapa de clasificación manual, para aislar un número de corrientes rica en materiales reciclables incluyendo una corriente de película plástica, una corriente PEAD, una corriente PET, y una corriente de plástico mixto. Otras posibles corrientes rica en materiales reciclables generadas a partir de la corriente de material rodante fraccionada pueden incluir corrientes de vidrio clasificadas por color, una corriente de plástico PVC, una corriente de vidrio mixto, una corriente de metal mixto, corrientes metálicas clasificadas por aleación (por ejemplo, aluminio, latón y cobre), una corriente de cartones de bebidas, una corriente de papel y/o una corriente de cartón. El material residual que queda tras el fraccionamiento de la corriente de material rodante está enriquecido en combustible material en comparación con las diferentes corrientes recuperadas, y se envía al acondicionamiento de CDR como se ha descrito en otra parte en el presente documento.
- En algunos aspectos de la presente invención, la corriente de materiales planos generada en el fraccionamiento bidimensional/tridimensional (por ejemplo, separación balística) de la(s) corriente(s) pasante(s) enriquecida(s) en material rodante se puede clasificar

opcionalmente mediante clasificación óptica como se ha descrito en otra parte en el presente documento para formar una corriente de PyC recuperada y una corriente rica en CDR. La corriente rica en CDR se envía al acondicionamiento de CDR como se ha descrito en otra parte en el presente documento. La corriente PyC se puede vender de manera  
5 opcional o procesarse para recuperar la fibra celulósica para su conversión en monosacáridos.

En algunos aspectos de la presente invención, la corriente de materiales planos que comprende PyC generada en el fraccionamiento bidimensional/tridimensional (por ejemplo,  
10 separación balística) de la corriente pasante(s) enriquecida en material rodante se puede procesar opcionalmente en un reactor discontinuo secuencial ("RDS") para recuperar una corriente de fibra celulósica para su conversión en monosacáridos mediante hidrólisis de los materiales celulósicos y una corriente rica en CDR. Los RDS incluidos en el alcance de la invención incluyen un cilindro rotatorio inclinado con inyección directa de vapor y que tiene  
15 alertas internas u otros medios conocidos en la técnica para inducir la mezcla y la homogeneización del material durante el volteo. La corriente de materiales planos se introduce en el RDS y se pone en contacto con vapor para aumentar la temperatura a aproximadamente 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C o 90 °C, y sus intervalos, tal como de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 80 °C, para iniciar la digestión y/o hidrólisis del  
20 material celulósico, y para reducir el tamaño de partícula. La optimización se puede basar en una o más de las siguientes variables: (1) las características de la alimentación, (2) la temperatura, (3) la velocidad de alimentación y tiempo de residencia, (4) el ángulo de inclinación, (5) el grado de volteo, y (6) la velocidad de rotación.

25 En dichos aspectos de la presente invención, la corriente de descarga del RDS se fracciona con un tamiz tal como se describe en otra parte del presente documento y que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm, tal como aproximadamente 10 mm, para formar una RDS corriente de hundido que comprende CDR y una corriente pasante del RDS enriquecida en compuestos celulósicos (celulosa y  
30 cantidades menores de hemicelulosa y lignocelulosa) y compuestos inorgánicos como cargas de papel. Las cargas de papel son compuestos que se añaden normalmente al papel en concentraciones de hasta aproximadamente 50 % en peso ("% en peso) para transmitir suavidad, flexibilidad, y propiedades ópticas tales como opacidad y color y por lo general incluyen compuestos inorgánicos y pigmentos como arcilla (por ejemplo, arcilla de caolín),  
35 carbonato de calcio y otros componentes que contienen calcio, partículas de tinta, dióxido de titanio, talco, componentes que contienen magnesio, componentes que contienen sodio, componentes que contienen potasio, componentes que contienen silicio, componentes que

contienen fósforo y componentes que contienen aluminio (denominados colectivamente "cenizas"). Como problema, las cargas de papel como el carbonato de calcio reducen la biodisponibilidad de los compuestos celulósicos y las arcillas de caolín reducen la actividad de enzimas celulolíticas y hemicelulolíticas. Por lo tanto, en algunos aspectos de la presente invención, la corriente pasante del RDS se fracciona para eliminar contaminantes y formar una corriente celulósica purificada para su conversión en monosacáridos.

En uno de estos aspectos de fraccionamiento tal como purificación, se forma una suspensión pasante de RDS que comprende de aproximadamente 2 a aproximadamente 8 por ciento en peso de sólidos totales incluyendo material celulósico y cargas de papel. La suspensión se convierte en pulpa en condiciones de cizalladura para formar una suspensión en forma de pulpa que comprende fibra celulósica y contaminantes liberados (cargas de papel). Los sistemas y métodos de formación de pulpa son conocidos en la materia. La suspensión en forma de pulpa se fracciona a través de un medio de filtración que tiene aberturas de aproximadamente 0,2 cm a aproximadamente 1,5 cm para formar una corriente de hundido que comprende contaminantes gruesos y una corriente pasante que comprende fibras celulósicas y contaminantes ligeros. La corriente pasante se puede someter a pretratamiento como se ha descrito en otra parte en el presente documento para hidrolizar al menos una parte del componente de celulosa en monosacáridos. En algunos aspectos opcionales, la corriente pasante se puede purificar adicionalmente mediante separación de al menos una parte de los contaminantes ligeros a partir de la fibra celulósica, tal como mediante lavado en un medio de filtración o en una centrífuga, para formar una corriente de contaminante ligero que comprende cenizas y una fibra celulósica. Típicamente, las corrientes pasantes enriquecidas en celulosa comprenden no más de aproximadamente 15 por ciento en peso de cenizas en base seca, y donde el contenido de cenizas de la corriente de fibra celulósica es menor que el contenido de cenizas de la BR corriente pasante de RDS en base seca. En cualquiera de estos variados aspectos, la corriente de fibra celulósica se deshidrata (eliminando de esta forma más cantidad de contaminantes ligeros) para formar una corriente de fibra celulósica deshidratada que tiene un contenido en sólidos de aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 60 % en peso y una corriente acuosa. En algunos aspectos opcionales, la separación y eliminación de contaminantes (tal como mediante disolución) se puede potenciar mediante (i) adición de ácido a la suspensión en forma de pulpa para ajustar el pH de aproximadamente 2 a aproximadamente 6 o (ii) añadir base a la suspensión en forma de pulpa para ajustar el pH de aproximadamente 8 a aproximadamente 12. La corriente de fibra celulósica deshidratada se puede convertir en glucosa, sola o junto con biorresiduos limpios.

En otro de dichos aspectos, la corriente pasante de RDS se fracciona en seco mediante cribado para eliminar una fracción de partículas finas enriquecida en cenizas y formar una corriente rica en biorresiduos sólidos limpia enriquecida en componentes celulósicos. En general, la RDS se fracciona mediante al menos una criba de clasificación como se ha descrito en otra parte en el presente documento para recuperar la corriente rica en biorresiduos sólidos limpia en al menos una criba de clasificación donde la fracción de material particulado fino atraviesa el tamiz. En algunos aspectos de la presente invención, el sistema de separación por tamiz incluye un tamiz que tiene aberturas de aproximadamente 0,1 mm, aproximadamente 1 mm, aproximadamente 2 mm, aproximadamente 3 mm, aproximadamente 4 mm, aproximadamente 5 mm, aproximadamente 6 mm, y sus intervalos, tales como de aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 6 mm, de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 2 mm, o de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 1,5 mm. En varios aspectos, el sistema de separación por tamiz comprende dos cribas, tal como una primera criba que tiene aberturas de aproximadamente 3 mm a aproximadamente 8 mm o de aproximadamente 3 mm a aproximadamente 6 mm y una segunda criba que tiene aberturas de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 2 mm o de aproximadamente 0,5 mm a aproximadamente 1,5 mm. La fracción de material particulado fino comprende un contenido en material inorgánico (cenizas) de al menos un 50 % en peso, al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 95 % en peso, o hasta aproximadamente 95 % en peso, tal como de aproximadamente 50 % en peso a aproximadamente 95 % en peso o de aproximadamente 80 % en peso a aproximadamente 95 % en peso y el cociente entre el contenido en cenizas de la fracción de material particulado fino y el contenido en cenizas de la corriente rica en biorresiduos sólidos limpia es al menos 2:1, al menos 3:1, al menos 4:1 o al menos 5:1. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, la eliminación de una fracción rica en material inorgánico de la corriente pasante de RDS se puede realizar según métodos de clasificación por aire en rotación conocidos en la materia tal como se describe en las patentes de Estados Unidos con números 1.629.594, 3.734.287 y 4.869.786, que se ha incorporado por referencia al presente documento, o mediante uno o más tamices vibratorios donde la fracción rica en material inorgánico forma una fracción de material fino y la corriente rica en biorresiduos es una fracción gruesa.

Cualquiera de las diferentes corrientes de CDR dentro del alcance de la presente invención se puede condicionar para formar CSR. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, los diversos combustibles CDR se combinaron y se procesaron en una trituradora primaria para reducir el volumen. Un tamaño promedio de partícula típico es de aproximadamente 200 mm a aproximadamente 350 mm. Las trituradoras adecuadas incluyen, sin limitación, trituradoras industriales para reducir el papel a tiras o trituradoras de

cartón incluyendo trituradoras que tengan uno o más ejes que incluyen un número de cabezales cortantes que pueden cortar y/o desmenuzar materiales residuales entrantes hasta un tamaño seleccionado. Un ejemplo de trituradora es una trituradora de tornillo contrarrotatorio (disponible de Munson (Utica, N.Y.)). El material desmenuzado se fracciona  
5 mediante clasificación por aire como se describe en el presente documento (tal como un separador por aire lineal) para formar una corriente ligera y una corriente pesada donde la corriente ligera está enriquecida en material combustible en comparación con la corriente pesada. La corriente ligera se procesa en una trituradora secundaria para adicionalmente reducir el volumen y el tamaño de partícula y formar CSR. Un tamaño promedio de partícula  
10 típico es de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 50 mm. El CSR se puede secar opcionalmente para aumentar el valor energético por unidad de peso. El CSR se caracteriza por tener un valor calorífico de entre aproximadamente 17 y aproximadamente 30 megajulios por kilogramo (de aproximadamente 7.500 a aproximadamente 13.000 Btu/lb) y menos de aproximadamente un 20 % en peso de agua. El CSR dentro del alcance de la  
15 presente invención puede usarse de manera adecuada como fuente de energía para calderas y hornos de producción de cemento, o como sustrato de gasificación.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, se pueden utilizar dispositivos de separación magnética en diferentes puntos de los sistemas de la presente  
20 invención para recoger metales ferrosos. Los ejemplos de separadores magnéticos incluyen tambor magnético, imanes de cinta perpendicular magnético<sup>1</sup>, cabezales con poleas magnéticas, y similares. Las ubicaciones adecuadas incluyen, sin limitación, las salidas de hundidos y pasantes del tromel y sistemas de transporte, salidas de corriente pesada de la separación por densidad y sistemas de transporte, y junto con sistemas de clasificación  
25 óptica y de clasificación por rayos X.

En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, uno o más separadores electrostáticos para el aislamiento y separación de componentes plásticos que se puede operar junto con uno o más de los sistemas descritos en el presente documento, incluyendo  
30 fraccionamiento con aire, tamices de fraccionamiento, sistemas de transporte y transferencia de material, clasificadores ópticos y por rayos X, y aparatos de abertura de bolsas. Los sistemas de separación electrostática son conocidos en la materia y están comercialmente disponibles. En algunos aspectos de la invención, la separación de plásticos según el tipo se puede llevar a cabo por separación electrostática donde una corriente que comprende una  
35 mezcla de plásticos se carga electrostáticamente (por ejemplo mediante fricción o aplicación de una carga) dando por resultado un material cargado positivamente y negativamente, donde los plásticos PE, PVC y PET tienen una carga inducida característica y diferente. Por

ejemplo, PE y PET asumen normalmente una carga positiva y el PVC asume normalmente una carga negativa. Los materiales cargados positiva y negativamente se hacen pasar por un campo electrostático formado por contraelectrodos en lados opuestos donde el plástico cargado positivamente migra al lado del electrodo negativo y el plástico cargado  
5 negativamente migra hasta el lado del electrodo positivo dando como resultado la separación del plástico por tipo. Los sistemas de separación electrostática están disponibles de Hitachi Zosen Corporation.

Las corrientes de biorresiduos limpias y las corrientes de fibra celulósica se pueden convertir  
10 en una o más etapas de hidrólisis para conseguir una corriente acuosa que comprende glucosa. En algunos aspectos de la presente invención, la corriente de glucosa se puede concentrar para formar un jarabe de glucosa. En algunos aspectos adicionales, la corriente de glucosa se puede purificar para eliminar las impurezas y los monosacáridos C5 (por ejemplo, xilosa). En algunos aspectos adicionales de la presente invención, la corriente de  
15 glucosa se puede poner en contacto con la fuente de al menos un organismo de fermentación para formar un producto de fermentación.

En algunos aspectos de la conversión de biorresiduos de la presente invención, se combinan los biorresiduos limpios, o se impregnan, con al menos una corriente acuosa con  
20 agitación para formar una suspensión de biorresiduo limpia que tiene un contenido de agua de aproximadamente un 50 % en peso, aproximadamente un 60 % en peso, aproximadamente un 70 % en peso, aproximadamente un 80 % en peso, o aproximadamente un 90 % en peso, y sus intervalos, tal como de aproximadamente 50 a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 60 a aproximadamente 80 % en  
25 peso. El pH puede ajustarse opcionalmente a aproximadamente 1, 2, 3, 4, 5 o 6, y sus intervalos, tal como entre aproximadamente 1 y aproximadamente 6, de aproximadamente 2 a aproximadamente 6, o de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 para favorecer la solubilización de al menos una parte del almidón, dextrina, disacáridos y/o monosacáridos contenidos en los biorresiduos y para proporcionar condiciones favorables para la hidrólisis  
30 de la celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa y/o para esterilizar la suspensión. Como se usa en el presente documento, la dextrina se refiere a mezclas de bajo peso molecular de polímeros de glucosa producidos por la hidrólisis del almidón y unidos mediante enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. En algunos aspectos diferentes, la concentración de ácido se ajusta a entre aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,05 kg de ácido por kg de biorresiduo limpio  
35 sobre una base sólida. Se pueden usar ácidos minerales (por ejemplo ácido sulfúrico y ácido clorhídrico) o ácidos orgánicos, y se prefieren generalmente ácidos minerales. Como alternativa, el pH puede ajustarse opcionalmente a aproximadamente 8, 9, 10, 11, o 12, y

- sus intervalos, tal como entre aproximadamente 8 y aproximadamente 12, de aproximadamente 9 a aproximadamente 11. En algunos aspectos diferentes, la base es amoniaco y la concentración se ha ajustado a entre aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,5 kg por kg de biorresiduo limpio sobre una base sólida. La temperatura puede ajustarse opcionalmente a aproximadamente 30 °C aproximadamente 40 °C, aproximadamente 50 °C, aproximadamente 60 °C, aproximadamente 70 °C o aproximadamente 80 °C, y sus intervalos, tal como aproximadamente 30 °C a aproximadamente 80 °C o entre aproximadamente 40 °C a aproximadamente 60 °C.
- 10 Se puede llevar a cabo la impregnación de biorresiduos limpios mediante cualquier medio adecuado conocido en la técnica. En un método, los biorresiduos limpios se pulverizan con agua (que comprende opcionalmente ácido o base) con mezclado en un mezclador de cizalladura elevada, tal como un mezclador de cinta o una de tipo amasado. El material impregnado se mantiene normalmente durante un periodo suficiente de tiempo antes, del pretratamiento con vapor para permitir un equilibrio de humedad y la temperatura tal como
- 15 aproximadamente 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos o una hora. En otro método, una suspensión que comprende biorresiduos limpios, agua (que comprende opcionalmente ácido o base) se forma mezclando a un contenido de humedad de al menos aproximadamente 60 % en peso, tal como de aproximadamente 70 % en peso a
- 20 aproximadamente 90 % en peso. La suspensión se deshidrata después para dar como resultado biorresiduos limpios impregnados. En cualquiera de los diversos aspectos, el contenido final en humedad del biorresiduo limpio impregnado es de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 80 % en peso, 30 % en peso a aproximadamente 70 % en peso, o de 30 % en peso a aproximadamente 60 % en peso.
- 25 En algunos aspectos, la suspensión de biorresiduos o la suspensión de biorresiduos con pH ajustado se procesa mediante al menos una etapa de separación sólido-líquido para formar una corriente líquida que comprende componentes solubles de biorresiduos (por ejemplo, monosacáridos, disacáridos, dextrinas y almidón soluble) y una corriente de biomasa sólida que comprende biorresiduos insolubles (por ejemplo, celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, cantidades menores de dextrina y almidón insoluble). Cualquier técnica de separación sólido/líquido conocida en la técnica, tal como filtración o centrifugación, es adecuada para la práctica de la presente invención.
- 35 En cualquiera de los diversos aspectos de la hidrólisis de biorresiduos limpios de la invención, la corriente de biomasa sólida (impregnada opcionalmente con agua, ácido o base) se puede poner en contacto opcionalmente a una temperatura y presión elevadas

seguido por una rápida despresurización en una etapa de pretratamiento con vapor para potenciar la accesibilidad de los componentes celulósicos de las enzimas. Más particularmente, la corriente de biomasa sólida puede someterse a unas condiciones de presión y temperatura elevadas para romper los complejos de celulosa-hemicelulosa y celulosa-hemicelulosa-lignina. Tras un periodo de tiempo de contacto, la presión de la corriente de biomasa sólida se reduce y/o el alimento tratado se descarga a un ambiente de presión reducida, tal como presión atmosférica, para generar una corriente de biomasa sólida tratada con vapor tratado, y evaporar rápidamente y ventear el vapor. El cambio en la presión da como resultado una rápida expansión del material que ayuda por tanto a desmenuzar la estructura de la fibra de biomasa que incluye, por ejemplo, los enlaces entre la lignina (si está presente) y la hemicelulosa y/o la celulosa en el complejo de celulosa-hemicelulosa o celulosa-hemicelulosa-lignina (denominado colectivamente "complejos de celulosa"). Más particularmente, por medios fisicoquímicos, el tratamiento con vapor disocia normalmente la celulosa de la hemicelulosa y lignina (si está presente) proporcionando celulosa adecuada para la hidrólisis enzimática de la glucosa. El tratamiento con vapor disocia normalmente la hemicelulosa desde el complejo, generalmente en la forma de hemicelulosa solubilizada en una fase líquida de la biomasa celulósica tratada. En diversos aspectos, de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de la hemicelulosa contenida en la biomasa celulósica se solubiliza en una fase líquida de la biomasa celulósica tratada. De esta manera, el tratamiento con vapor proporciona hemicelulosa adecuada para la hidrólisis enzimática de los monosacáridos. La corriente de biomasa sólida para el pretratamiento con vapor puede tener pH neutro o puede tener pH ácido o pH básico como se ha descrito anteriormente. Como alternativa, la corriente de biomasa sólida se puede impregnar con ácidos o bases adicionales antes del pretratamiento con vapor. Se puede llevar a cabo la impregnación de ácidos o bases mediante cualquier medio conocido en la técnica para conseguir una mezcla sustancialmente homogénea, incluyendo tanques de mezcla agitada (seguido por una etapa de deshidratación), mezcladores en línea, mezcladores de tipo amasado, mezcladores de paletas, mezcladores de cintas. En cualquiera de los diversos aspectos, la biomasa sólida o la biomasa impregnada se pone en contacto con vapor a una temperatura de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 250 °C, de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 220 °C, de aproximadamente 175 °C a aproximadamente 220 °C, o de aproximadamente 175 °C a aproximadamente 200 °C y a una presión de aproximadamente 400 kPa manométricos a aproximadamente 1750 kPa, de aproximadamente 500 kPa manométricos a aproximadamente 1525 kPa, de aproximadamente 625 kPa manométricos a aproximadamente 1450 kPa, o de aproximadamente 1000 kPa manométricos a aproximadamente 1400 kPa. El tiempo de contacto total a temperatura y presión elevadas

es de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 60 minutos, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 10 minutos, o de aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 6 minutos. En algunos aspectos de la invención, la presión es de aproximadamente 600 kPa y el tiempo de contacto es de aproximadamente 8 minutos. En algunos aspectos de la invención, transcurrido el tiempo de contacto, la presión se reduce a menos de aproximadamente 35 kPa, tal como aproximadamente 30 kPa, aproximadamente 25 kPa, aproximadamente 20 kPa, aproximadamente 15 kPa, aproximadamente 10 kPa, aproximadamente 5 kPa, ligeramente por encima de la presión ambiente, o aproximadamente a la presión ambiente para formar la biomasa insoluble pretratada con vapor (i) en una única etapa de reducción de la presión o (ii) de aproximadamente 345 kPa a aproximadamente 1380 kPa, de aproximadamente 345 kPa a aproximadamente 1205 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1380 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1205 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1035 kPa, o de aproximadamente 1035 kPa a aproximadamente 1205 kPa en una primera etapa de reducción de presión y mantenerla durante un periodo de tiempo de aproximadamente 0,5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 0,5 minutos a aproximadamente 15 minutos, o de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 5 minutos, seguido por una reducción a menos de aproximadamente 35 kPa en una segunda etapa.

20

En algunos aspectos de la presente invención, la corriente de biomasa sólida (opcionalmente impregnada con un ácido o base) se introduce en un recipiente que comprende una zona de contacto para el tratamiento con vapor. La corriente de biomasa sólida está normalmente en la forma de una suspensión o torta. Por ejemplo, la corriente de biomasa sólida puede presionarse para formar una torta, o un aglomerado de sólidos tratados para su introducción en el recipiente de tratamiento con vapor. La forma y configuración precisas del recipiente no son muy críticas y pueden seleccionarse por un experto en la técnica dependiendo de las circunstancias concretas (por ejemplo, las propiedades de la biomasa celulósica y las condiciones de funcionamiento). En general, el recipiente incluye una entrada para la introducción de la corriente de la biomasa sólida y una o más salidas para liberar la biomasa celulósica tratada y/o los diversos componentes generados durante el tratamiento con vapor. Una vez que la corriente de biomasa sólida está contenida en el recipiente, el recipiente se presuriza y la corriente de biomasa sólida se calienta mediante inyección directa de vapor. En cualquiera de los diversos aspectos de pretratamiento con vapor de la invención, una corriente de vapor o gas puede ventearse continua o periódicamente del recipiente de pretratamiento con vapor para purgar los compuestos orgánicos volátiles ("COV") generados como subproductos del tratamiento

35

ácido y con vapor de la celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa que se sabe que son compuestos inhibidores de la fermentación y/o enzimáticos. Dichos inhibidores incluyen, por ejemplo, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfural ("HMF"). En algunos otros aspectos opcionales diferentes de la invención, el calentamiento de la corriente de biomasa sólida puede llevarse a cabo indirectamente, tal como aplicando vapor a un recipiente encamisado. Típicamente, la corriente de biomasa sólida se mantiene a una temperatura y presión objetivos, tal como mediante el control de la presión, durante un tiempo suficiente para proporcionar un calentamiento adecuado. En algunos aspectos de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y del calentamiento de la corriente de la biomasa sólida, la corriente de biomasa sólida se libera o transfiere desde el recipiente de contacto hasta un recipiente receptor que tiene una presión reducida y controlada. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y del calentamiento de la corriente de biorresiduo sólido, la presión y la temperatura del recipiente se reduce hasta una presión y temperatura intermedias y se mantiene durante un periodo de tiempo en aquellas condiciones, seguido por una reducción de la presión o por una presión ligeramente superior a la presión atmosférica. En algunos aspectos adicionales diferentes de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y calentamiento de la corriente de la biomasa sólida, la presión y la temperatura en el recipiente se reducen a la presión atmosférica o a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica. En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, como se ha señalado, la súbita disminución de la presión durante esta liberación promueve la rotura del complejo de celulosa. Esto es, la súbita disminución en la presión produce un rápido aumento en el volumen del vapor y los gases atrapados en el interior de la estructura porosa de la biomasa lo que da como resultado velocidades del gas incidente muy rápidas y/o una rápida vaporización del agua calentada que bien ha ocupado o se ha forzado al interior de la estructura fibrosa. En los casos en los que la presión diferencial es suficientemente elevada y donde el cambio de presión se produce rápidamente, la rápida vaporización asociada y la velocidad del gas se produce esencialmente de forma instantánea en un método conocido en la técnica como explosión de vapor. En cualquiera de los diferentes aspectos de la presente invención, la etapa de despresurización genera una corriente de vapor súbita que comprende diversos COVs tal como se ha descrito anteriormente").

La corriente de biomasa sólida pretratada con vapor se combina con (1) la corriente líquida que comprende los componentes del biorresiduo soluble y/o una corriente acuosa y (2) una fuente de enzimas que comprende al menos celulasas para generar un hidrolizado que comprende glucosa. Las celulasas son una clase de enzimas producidas principalmente por

hongos, bacterias, y protozoos que catalizan la celulolisis (hidrólisis) de la celulosa en glucosa, celobiosa, celotriosa, celotetrosa, celopentosa, celohexosa, y celodextrinas de cadena más larga. Se pueden emplear combinaciones de los tres tipos básicos de celulasas. Por ejemplo, se pueden añadir endocelulasas para hidrolizar aleatoriamente los enlaces  $\beta$ -1,4,-D-glucosídicos a fin de perturbar la estructura cristalina de la celulosa y exponer las cadenas de celulosa individuales. Se pueden añadir exocelulasas para escindir dos unidades (celobiosa), tres unidades (celotriosa), o cuatro unidades (celotetrosa) de las cadenas expuestas, mientras que se puede añadir  $\beta$ -glucosidasa para hidrolizar estos compuestos a glucosa, que está disponible para la fermentación. Los ejemplos de celulasas adecuadas incluyen, por ejemplo, Cellic<sup>®</sup> CTec2, Cellic<sup>®</sup> CTec3, CELLUCLAST<sup>®</sup>, CELLUZYME<sup>®</sup>, CEREFLO<sup>®</sup> y ULTRAFLO<sup>®</sup> (disponible de Novozymes A/S), LAMINEX<sup>®</sup>, SPEZYME<sup>®</sup>CP (Genencor Int.), y ROHAMENT<sup>®</sup> 7069 W (Rohm GmbH), y GC-220 (Genencor International). La corriente líquida se esteriliza preferentemente para destruir microbios antes de su combinación con el vapor de la corriente de biomasa sólida pretratada. La esterilización se puede llevar a cabo mediante, por ejemplo, tratamiento de temperatura, radiación UV, o una de sus combinaciones.

En cualquiera de los diversos aspectos, por lo general, se forma una suspensión a partir del líquido y se pretratan las corrientes de la biomasa sólida en condiciones favorables para la actividad de la celulasa. Más particularmente, el pH de la suspensión se ajusta preferentemente de aproximadamente 4 a aproximadamente 6,5, de aproximadamente 4,5 a aproximadamente 6, o de aproximadamente 5 a aproximadamente 5,5, la temperatura de la suspensión se ajusta de aproximadamente 35 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 65 °C, o de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 60 °C y el contenido de sólidos en suspensión se ajusta preferentemente a aproximadamente 10 % en peso, aproximadamente 15 % en peso, aproximadamente 20 % en peso, aproximadamente 25 % en peso o aproximadamente 30 % en peso de sólidos totales ("ST"), y sus intervalos, tal como de aproximadamente 15 % a aproximadamente 25 % ST o de aproximadamente 18 % a aproximadamente 22 % TS, con una o más de agua de proceso, o corriente acuosa de recirculación. La carga de celulasa en la suspensión de forma adecuada se puede variar con el contenido de celulosa, pero la carga típica puede expresarse como de aproximadamente 5 mg a aproximadamente 50 mg, de aproximadamente 10 mg a aproximadamente 50 mg, de aproximadamente 20 mg a aproximadamente 50 mg, de aproximadamente 10 mg a aproximadamente 50 mg, de aproximadamente 10 mg a aproximadamente 40 mg, de aproximadamente 10 mg a aproximadamente 30 mg, de aproximadamente 20 mg a aproximadamente 50 mg o de aproximadamente 20 mg a aproximadamente 40 mg de celulasa por gramo de celulosa.

Expresado de otra forma, la carga de celulasa es de aproximadamente 10 a aproximadamente 40 mg de proteína enzimática por gramo de celulosa en la biomasa celulósica tratada.

- 5 La celulasa puede combinarse con la suspensión de biomasa tratada mediante cualquier medio conocido en la técnica para conseguir una mezcla sustancialmente homogénea, incluyendo tanques de mezcla agitada, mezcladores en línea, mezcladores de tipo amasado, mezcladores de paletas, mezcladores de cintas, o en reactores de licuefacción tales como reactores que tienen al menos una sección de mezcla y al menos una sección de
- 10 flujo pistón. El reactor de hidrólisis enzimática es normalmente un recipiente agitado diseñado para mantener la mezcla de suspensión-celulasa de la biomasa a una temperatura adecuada para la hidrólisis de la celulosa mediante la celulasa, donde el volumen es suficiente para proporcionar el tiempo de mantenimiento necesario para un rendimiento significativo de los azúcares monosacáridos hexosas derivados de la celulosa ("C6"), por
- 15 ejemplo, glucosa. En algunos aspectos de la presente invención, el recipiente de hidrólisis enzimática puede aislarse y/o calentarse con una camisa de calentamiento para mantener la temperatura de la hidrólisis. El tiempo de ciclo de la hidrólisis enzimática total es de 48 horas, 54 horas, 60 horas, 66 horas, 72 horas, 78 horas, 96 horas y 144 horas, y sus intervalos, está comprendido en el alcance de la presente invención. Los rendimientos de la
- 20 glucosa, basados en el contenido de celulosa total de la suspensión de la biomasa son normalmente de aproximadamente 30 % a aproximadamente 90 %, de aproximadamente 40 % a aproximadamente 80 % de aproximadamente 30 % a aproximadamente 70 % o de aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 % del valor teórico.
- 25 Para las suspensiones de biomasa tratada muy viscosas, tales como las que tienen una viscosidad superior a 20000 cP, aproximadamente 30.000 cP, aproximadamente 50000 cP, aproximadamente 60000 cP, aproximadamente 100000 cP o aproximadamente 400000 cP, la mezcla con enzimas puede llevarse a cabo en dos etapas. En una primera etapa, la celulasa puede mezclarse con la biomasa en un mezclador particularmente adecuado para
- 30 el procesado de materiales muy viscosos, por ejemplo, un mezclador de tipo amasadora, un mezclador de paletas (de eje simple o doble), o un mezclador de cintas (de eje simple o doble). Los mezcladores de elevada viscosidad son particularmente adecuados para el método de la presente invención debido a que la vigorosa agitación de la celulasa con la suspensión viscosa de la biomasa tratada permite una rápida reducción de la viscosidad en
- 35 la posterior etapa de licuefacción donde la viscosidad se reduce preferentemente a menos de aproximadamente 20000 cP, menos de aproximadamente 15000 cP, menos de aproximadamente 10000 cP o incluso menos de aproximadamente 5000 cP. El mezclador

de elevada viscosidad puede tener opcionalmente una camisa para recibir un medio de enfriamiento o calentamiento a fin de mantener la temperatura de la biomasa tratada durante la adición de celulasa. De manera opcional, puede incorporarse un medio de enfriamiento y calentamiento en los componentes del mezclador interno (tal como en los ejes de rotación, paletas) para potenciar adicionalmente el intercambio de calor. En algunos aspectos, la adición de la celulasa puede llevarse a cabo mediante uno o más puntos de adición, por ejemplo, boquillas de pulverización múltiples, posición próxima a la entrada de la biomasa tratada. En una segunda etapa, la mezcla de biomasa-celulasa tratada puede procesarse en un tanque de mezcla o en un biorreactor de licuefacción de fibra. En algunos aspectos, la mezcla de biomasa-celulasa tratada puede procesarse en un biorreactor de licuefacción de fibras para reducir adicionalmente la viscosidad antes de su transferencia a un reactor de hidrólisis de la celulosa. El biorreactor de licuefacción de fibras puede ser tanto de un diseño de mezcla continua o un diseño con al menos una sección de mezcla continua y al menos una sección de flujo pistón. De manera opcional, dos o más biorreactores de licuefacción de fibras pueden hacerse funcionar en serie. En algunos aspectos concretos, el biorreactor de licuefacción de fibras comprende alternar zonas de mezcla y zonas de flujo pistón próximas y la mezcla de biomasa-celulasa tratada fluye tanto hacia abajo a través de la torre por gravedad o se mueve hacia arriba mediante bombeo. La mezcla de biomasa-celulasa tratada se procesa normalmente en un biorreactor de licuefacción de fibras hasta que la viscosidad de la mezcla es menor de aproximadamente 10000 cP, menos de aproximadamente 9000 cP, menos de aproximadamente 8000 cP, menos de aproximadamente 7000 cP o menos de aproximadamente 5000 cP donde después se transfiere a un reactor de hidrólisis de la celulosa.

De manera opcional, enzimas adicionales tales como una hemicelulasa (por ejemplo, una xilanasa para hidrolizar adicionalmente los diversos tipos de hemicelulosas a xilosa), una  $\alpha$ -amilasa (para licuar el almidón libre que se encuentra atrapado anteriormente en las matrices de celulosa, hemicelulosa y/o lignocelulosa), una  $\beta$ -amilasa, una glucoamilasa (para convertir el almidón licuado en azúcares C6), una arabinoxilanasa, una pululanasa, y/o una proteasa (para hidrolizar los enlaces peptídicos y liberar gránulos de almidón embebidos en la matriz de proteínas ) se pueden añadir a la biomasa celulósica tratada para generar azúcares C6 adicionales y/o azúcares pentosa ("C5"). Los ejemplos no limitantes de azúcares C6 incluyen glucosa, galactosa, manosa, y fructosa y los ejemplos no limitantes de azúcares C5 incluyen xilosa, arabinosa y ribosa. Las enzimas opcionales se pueden mezclar con la biomasa celulósica tratada en cualquier momento de la hidrólisis incluyendo con la celulasa durante una mezcla de elevada viscosidad, en una o más ubicaciones del biorreactor de licuefacción de fibras y/o en el reactor de hidrólisis de la celulosa.

Una hemicelulasa, tal como se usa en el presente documento, se refiere a un polipéptido que puede catalizar la hidrólisis de la hemicelulosa en polisacáridos pequeños tales como oligosacáridos, o monosacáridos incluyendo xilosa y arabinosa. Las hemicelulasas incluyen, por ejemplo, las siguientes: endoxilanasas,  $\beta$ -xilosidasas,  $\alpha$ -L-arabinofuranosidasas,  $\alpha$ -D-glucuronidasas, feruloil esterasas, coumaroil esterasas,  $\alpha$  galactosidasas,  $\beta$ -galactosidasas,  $\beta$ -mananasas, y  $\beta$ -manosidasas. Se puede obtener una xilanasas de cualquier fuente adecuada, incluyendo organismos fúngicos y bacterianos, tales como *Aspergillus*, *Disporotrichum*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Humicola*, *Thermomyces*, *Myceliophthora*, *Cryosporium*, y *Bacillus*. Las preparaciones comercialmente disponibles que comprenden xilanasas incluyen SHEARZYME®, BIOFEED WHEAT®, BIOFEED Plus®L, ULTRAFLO®, VISCOZYME®, PENTOPAN MONO®BG, y PULPZYME®HC (Novozymes A/S), y LAMINEX® y SPEZYME®CP (Genencor Int.) un ejemplo de una hemicelulasa adecuada para el uso en la presente invención incluye VISCOZYME® (disponible de Novozymes A/S, Dinamarca).

Generalmente, son aplicables cualquiera de las clases de las proteasas por ejemplo, ácidas, básicas o neutras, y están comercialmente disponibles proteasas de, por ejemplo, Novozymes, Genencor y Solvay. Los ejemplos incluyen, por ejemplo, GC106 (disponible de Genencor International), AFP 2000 (disponible de Solvay Enzymes, Inc.), FermGen™ (que es una proteasa alcalina disponible de Genencor International), y Alcalase® (que es una proteasa ácida disponible de Novozymes Corporation). Una pululanasa comercialmente disponible es Promozyne® D2, disponible de Novozyme Corporation. Las composiciones comercialmente disponibles que comprenden glucoamilasa incluyen: AMG 200L, AMG 300 L, AMG E, SAN® SUPER, SAN® EXTRA L, SPIRIZYME® PLUS, SPIRIZYME® FUEL, SPIRIZYME® FG y SPIRIZYME® E (disponibles todas de Novozymes); OPTIDEX® 300 y DISTILLASE® L-400 (disponibles de Genencor Int.); y G-ZYME™ G900, G-ZYME™ 480 Etanol y G990 ZR (disponibles de Genencor Int.). Los ejemplos de  $\alpha$ -amilasas ácidas comerciales de la invención incluyen TERMAMYL® SC, LIQUOZYME® SC DS, LIQUOZYME® SC 4X, y SAN™ SUPER (disponibles todas de Novozymes A/S, Dinamarca); y DEX-LO®, SPEZYME® FRED, SPEZYME® AA, y SPEZYME® DELTAAA (disponibles todas de Genencor).

Son útiles también los complejos multienzimáticos que contienen múltiples carbohidrasas, tales como Viscozyme® L, disponible de Novozyme Corporation, que contienen arabanasa, celulasa,  $\beta$ -glicanasa, hemicelulasa, y xilanasas.

En algunos aspectos opcionales de la presente invención, los monosacáridos pueden extraerse o separarse de otra forma a partir de la biomasa hidrolizada. En dichos aspectos, la biomasa hidrolizada se introduce en un aparato de recuperación de azúcares que comprende un equipo de separación de sólidos/líquidos adecuado tal como, por ejemplo, una criba, filtro, centrífuga, sedimentador, percolador, columna de extracción, recipiente de flotación, o una de sus combinaciones, para generar una fracción líquida que comprende azúcares monosacáridos y una fracción de sólidos, donde la fracción de sólidos puede estar de forma adecuada estar en forma de una torta o suspensión. La fracción de sólidos puede lavarse una o más veces para la recuperación de monosacáridos adicionales. En algunos aspectos, los monosacáridos pueden recuperarse de la fracción sólida mediante contacto en contracorriente de la fracción sólida con un líquido de lavado en un aparato adecuado para formar una corriente de lavado que comprende los monosacáridos extraídos. La fracción líquida se combina con un medio líquido y/o las corrientes de lavado para formar una fracción de monosacáridos. La composición precisa del medio líquido y del líquido de lavado no son estrictamente críticas. Sin embargo, en diversos aspectos preferidos de la presente invención, el medio líquido y el líquido de lavado pueden procesar agua si se desea una fracción de pureza relativamente elevada. Aunque la composición precisa de la fracción de monosacáridos varía con la composición de la biomasa, generalmente, las composiciones de monosacáridos comprenden al menos aproximadamente 5 % en peso, al menos aproximadamente 6 % en peso, al menos aproximadamente 7 % en peso, al menos aproximadamente 8 % en peso, al menos aproximadamente 9 % en peso, o al menos aproximadamente 10 % en peso de monosacáridos. La fracción de sólidos residuales comprende una celulosa no hidrolizada, hemicelulosa no hidrolizada, lignocelulosa no hidrolizada, polisacáridos (por ejemplo, gránulos de almidón), monosacáridos arrastrados y lignina. La fracción de sólidos residuales puede reciclarse adecuadamente para la recuperación de azúcares y de los sustratos azucarados.

En algunos aspectos opcionales de la presente invención, la composición de monosacáridos puede concentrarse para producir un concentrado de monosacáridos o un jarabe que tiene un contenido de monosacáridos de al menos aproximadamente un 10 % en peso, al menos aproximadamente un 15 % en peso, al menos aproximadamente un 20 % en peso, al menos aproximadamente un 25 % en peso, al menos aproximadamente un 30 % en peso, al menos aproximadamente un 35 % en peso o al menos aproximadamente un 40 % en peso. Se conocen en la técnica métodos de concentración e incluyen evaporadores, ósmosis inversa y sus combinaciones.

Cualquiera de diversas corrientes de biomasa sólida tratadas con enzimas, las corrientes de

suspensión se pueden utilizar con los microorganismos adecuados como sustrato para la producción de productos de fermentación. Se conoce en la técnica una amplia variedad de microorganismos de fermentación, y se pueden descubrir otros, producidos mediante mutación, o diseñados mediante ingeniería genética mediante medios recombinantes. Los microorganismos de fermentación comprendidos en el alcance de la presente invención incluyen levaduras, bacterias, hongos filamentosos, microalgas, y sus combinaciones. Los ejemplos de productos de fermentación en el alcance de la presente invención incluyen, por ejemplo, ácidos, alcoholes, alcanos, alquenos, aromáticos, aldehídos, cetonas, triglicéridos, ácidos grasos, biopolímeros, proteínas, péptidos, aminoácidos, vitaminas, antibióticos, farmacéuticos, y sus combinaciones. Los ejemplos no limitantes de alcoholes incluyen metanol, etanol, propanol, isopropanol, butanol, etilenglicol, propanodiol, butanodiol, glicerol, eritritol, xilitol, sorbitol, y sus combinaciones. Los ejemplos no limitantes de ácidos incluyen ácido acético, ácido láctico, ácido propiónico, ácido 3-hidroxipropiónico, ácido butírico, ácido glucónico, ácido itacónico, ácido cítrico, ácido succínico, ácido levulínico, y sus combinaciones. Los ejemplos no limitantes de aminoácidos incluyen ácido glutámico, ácido aspártico, metionina, lisina, glicina, arginina, treonina, fenilalanina, tirosina, y sus combinaciones. Otros ejemplos de productos de fermentación incluyen metano, etileno, acetona y enzimas industriales.

Los organismos de fermentación pueden ser microorganismos naturales o microorganismos recombinantes, e incluyen *Escherichia*, *Zymomonas*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, y *Clostridium*. En algunos aspectos de la presente invención, el organismo de fermentación es *Escherichia coli* recombinante, *Zymomonas mobilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridia thermocellum*, *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*, o *Pichia stipites*. En algunos aspectos adicionales de la presente invención, el microorganismo es una microalga, definida como un organismo microbiano eucariota que contiene un cloroplasto o plástido, y que opcionalmente es capaz de llevar a cabo la fotosíntesis, o un organismo microbiano procariota capaz de llevar a cabo la fotosíntesis. Las microalgas incluyen fotoautótrofos obligados, que no pueden metabolizar una fuente de carbono fija como energía, así como heterótrofos, que pueden vivir únicamente de una fuente de carbono fija. Las microalgas incluyen organismos unicelulares que se separan de células hermanas que se acortan tras la división celular, tales como *Chlamydomonas*, así como microbios tales como, por ejemplo, *Volvox*, que es un microbio fotosintético multicelular simple de dos tipos de células distintos. Las microalgas incluyen células tales como *Chlorella*, *Dunaliella*, y *Prototheca*. Las microalgas incluyen también otros organismos fotosintéticos microbianos que presentan adhesión célula-célula, tales como *Agmenellum*, *Anabaena*, y *Pyrobotrys*. Las micro algas incluyen también microorganismos

fotoautótrofos obligados que han perdido la capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis, tal como en determinadas especies de algas de dinoflagelados y especies del género *Prototheca*.

5 Los ejemplos no limitantes de organismos fermentativos y su producto asociado incluyen los siguientes. Se conoce la fermentación de hidratos de carbono para dar acetona, butanol y etanol mediante: (i) *Clostridia* solvogénico tal como se describe por Jones y Woods (1986) Microbiol. Rev. 50:484-524; (ii) una cepa mutante de *Clostridium acetobutylicum* como se describe en la patente de Estados Unidos N° 5.192.673; y (iii) se conoce una cepa mutante  
 10 de *Clostridium beijerinckii* como se describe en la patente de Estados Unidos N° 6.358.717. Se ha descrito la fermentación de hidratos de carbono a etanol mediante cepas modificadas de *E. coli* por Underwood et al., (2002) Appl. Environ. Microbiol.68:6263-6272 y por una cepa modificada genéticamente de *Zymomonas mobilis* que se describe en el documento US 2003/0162271 A1. Se conoce la preparación de ácido láctico por cepas recombinantes  
 15 de *E. coli* (Zhou et al., (2003) Appl. Environ. Microbiol. 69:399 -407), cepas naturales de *Bacillus* (US20050250192), y *Rhizopus oryzae* (Tay and Yang (2002) Biotechnol. Bioeng. 80:1-12). Las cepas recombinantes de *E. coli* se han usado como biocatalizadores en la fermentación para producir 1,3 propanodiol (patente de los Estados Unidos, N°s 6.013.494 y 6.514.733) y ácido adípico (Niu et al., (2002) Biotechnol. Prog. 18:201-211). Se ha producido  
 20 ácido acético utilizando *Clostridia* recombinante (Cheryan et al., (1997) Adv. Appl. Microbiol. 43:1-33) y se han identificado recientemente cepas recombinantes (Freer (2002) World J. Microbiol. Biotechnol. 18:271-275). Se describe la producción de ácido succínico por *E. coli* recombinante y otras bacterias en la patente de los Estados Unidos. N° 6.159.738 y mediante *E. coli* recombinante en Lin et al., (2005) Metab. Eng. 7:116-127). Se ha producido  
 25 ácido pirúvico mediante la levadura *Torulopsis glabrata* mutante (Li et al., (2001) Appl. Microbiol. Technol. 55:680-685) y por *E. coli* mutante (Yokota et al., (1994) Biosci. Biotech. Biochem. 58:2164-2167). Se han usado cepas recombinantes de *E. coli* para la producción de ácido parahidroxicinámico (documento US20030170834) y ácido quínico (documento US20060003429).

30

Se ha llevado a cabo la producción de aminoácidos mediante fermentación utilizando cepas auxotróficas y cepas resistentes análogas de aminoácidos de *Corynebacterium*, *Brevibacterium*, y *Serratia*. Por ejemplo, se describe la producción de histidina utilizando una cepa resistente a un análogo de histidina en la publicación de patente japonesa N° 8596/81  
 35 y se describe utilizar una cepa recombinante en el documento EP 136359. Se describe la producción de triptófano utilizando una cepa resistente a un análogo de triptófano en las publicaciones de patentes japonesas N°s 4505/72 y 1937/76. Se describe la producción de

isoleucina utilizando una cepa resistente a un análogo de isoleucina en las publicaciones de patente japonesas N<sup>os</sup> 38995/72, 6237/76, 32070/79. Se describe la producción de fenilalanina utilizando una cepa resistente a un análogo de fenilalanina en la publicación de patente japonesa N<sup>o</sup> 10035/81. Se han descrito la producción de tirosina utilizando una cepa  
5 que requiere fenilalanina para el crecimiento, resistente a tirosina (Agr. Chem. Soc. Japan 50 (1) R79-R87 (1976), o una cepa recombinante (documento EP263515, EP332234), y la producción de arginina utilizando una cepa resistente a un análogo de L-arginina (Agr. Biol. Chem. (1972) 36:1675-1684, publicaciones de patente japonesas N<sup>os</sup> 37235/79 y 150381/82). También se ha producido fenilalanina mediante las cepas de *Eschericia coli*  
10 ATCC 31882, 31883, y 31884. Se describe la producción de ácido glutámico en una bacteria *Coryneform* recombinante en la patente de los Estados Unidos. N<sup>o</sup> 6.962.805. Se describe la producción de treonina por una cepa mutante de *E. coli* en Okamoto e Ikeda (2000) J. Biosci Bioeng. 89:87-79. Se ha producido metionina por una cepa mutante de *Corynebacterium liliium* (Kumar et al, (2005) Bioresour. Technol. 96: 287-294). Se conoce también la  
15 producción de péptidos, enzimas, y otras proteínas por microorganismos como se describe en las patentes de Estados Unidos N<sup>o</sup> 6.861.237, 6.777.207 y 6.228.630. La producción de triglicéridos, ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos (por ejemplo, biodiesel) por microalgas es también conocida como se describe en las patentes de Estados Unidos N<sup>o</sup> 7.883.882, 8.187.860, 8.278.090 y 8.222.010, y en las solicitudes de patente  
20 estadounidense publicadas N<sup>o</sup> 20100303957, 20110047863 y 20110250658.

La selección de condiciones de fermentación adecuadas puede llevarse a cabo de forma adecuada por los expertos en la técnica basándose en (i) la identidad de los microorganismos o una combinación de microorganismos, (ii) las características del medio  
25 del sustrato para la fermentación y (iii) el producto de fermentación asociado. La fermentación puede ser aerobia o anaerobia. Las fermentaciones únicas y multietapa están comprendidas en el alcance de la presente invención. El medio del sustrato de fermentación puede estar suplementado con nutrientes adicionales necesarios para un crecimiento microbiano. Los suplementos pueden incluir, por ejemplo, extracto de levadura, vitaminas,  
30 promotores del crecimiento, aminoácidos específicos, fuentes de fosfato, fuentes de nitrógeno, agentes quelantes, sales, y elementos traza. Se pueden incluir también los componentes necesarios para la producción de un producto específico preparado mediante un microorganismo específico, tal como un antibiótico para mantener un plásmido o un cofactor necesario en una reacción catalizada por enzimas. También se pueden incluir  
35 azúcares adicionales para aumentar la concentración de azúcar total. Se consiguen condiciones de fermentación adecuadas ajustando estos tipos de factores para el crecimiento y para la producción del producto de la fermentación objetivo por un

microorganismo. La temperatura de fermentación puede ser cualquier temperatura adecuada para el crecimiento y la producción de los nutrientes de la presente invención, tal como de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 45 °C, de aproximadamente 25 °C a aproximadamente 40 °C, o entre aproximadamente 28 °C a aproximadamente 32 °C. El pH de la fermentación puede ajustarse o controlarse mediante la adición de un ácido o base a la mezcla de fermentación. En dichos casos, cuando se usa amoníaco para controlar el pH, este sirve convenientemente también como fuente de nitrógeno. El pH se mantiene entre aproximadamente 3,0 a aproximadamente 8,0, de aproximadamente 3,5 a aproximadamente 7,0 o de aproximadamente 4,0 a aproximadamente 6,5. La mezcla de fermentación puede mantenerse opcionalmente para tener un contenido en oxígeno disuelto durante el curso de la fermentación para mantener un crecimiento celular y para mantener un metabolismo celular para la producción de nutrientes. Se puede controlar la concentración del oxígeno del medio de fermentación utilizando métodos conocidos tal como mediante el uso de un electrodo de oxígeno. Se puede añadir oxígeno al medio de fermentación utilizando métodos conocidos en la técnica tal como mediante agitación y aireación del medio mediante agitación, aplicación se sacudidas o uso de borboteadores. Se puede producir la fermentación posteriormente a la hidrólisis enzimática o se puede producir concurrentemente con la hidrólisis enzimática mediante SSF. En algunos aspectos de la presente invención, SSF puede mantener los niveles de azúcares producidos mediante hidrólisis reduciendo de este modo la inhibición potencial del producto de las enzimas de la hidrólisis, reduciendo la disponibilidad de azúcar para los microorganismos contaminantes, y mejorando la conversión de la biomasa tratada a monosacáridos y/u oligosacáridos.

Los organismos fermentadores del azúcar hexosa incluyen levaduras. Cualquier variedad de levaduras se puede emplear como levadura en el presente método. Las levaduras típicas incluyen cualquiera de una variedad de las levaduras comercialmente disponibles, tales como cepas comerciales de *Saccharomyces cerevisiae*. Las cepas adecuadas disponibles comercialmente incluyen ETHANOL RED (disponible de Red Star/Lesaffre, EE.UU.); BioFenn HP y XR (disponible de North American Bioproducts); FALI (disponible de Fleischmann's Yeast); SUPERSTART (disponible de Lallemand); GERT STRy (disponible de Gert StrandAB, Suecia); FERMIOL (disponible de DSM Specialties); y Thennosac (disponible de Alltech). En algunos aspectos, el organismo fermentador de hexosa es una levadura recombinante que tiene al menos un transgén que expresa una enzima útil para convertir mono y/u oligosacáridos en etanol.

En aspectos de la presente invención dirigidos a la generación de etanol por levaduras, el medio de fermentación tiene un pH de aproximadamente 3,5 a aproximadamente 6, de

aproximadamente 3,5 a aproximadamente 5 o de aproximadamente 4 a aproximadamente 4,5. Si se requiere un ajuste del pH, se pueden usar ácidos minerales tales como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido nítrico, o bases tales como amoníaco (hidróxido amónico) o hidróxido de sodio. Para potenciar la eficacia de la fermentación del etanol y un aumento del rendimiento del etanol se pueden añadir nutrientes adicionales para potenciar la proliferación de la levadura Dichos nutrientes incluyen sin limitación, amino nitrógeno libre (NAL), oxígeno, fosfato, sulfato, magnesio, zinc, calcio, y vitaminas tales como inositol, ácido pantoténico, y biotina. Las fuentes típicas de NAL incluyen urea, sulfato de amonio, amoniaco, aminoácidos, y grupos nitrógeno  $\alpha$ -amino de péptidos y proteínas. El contenido de NAL añadido es preferentemente de aproximadamente 1,2 a aproximadamente 6 mg N/g de almidón, por ejemplo 1,2, 2,4, 3,6, 4,8 o 6 mg N/g de almidón. En el caso de la urea, se prefiere añadir entre aproximadamente 2,4 a aproximadamente 12 mg de urea por gramo de almidón, por ejemplo, 2,4, 4,8, 7,2, 9,6 o 12 mg de urea por gramo de almidón. Las levaduras alimentarias que suministran, por ejemplo, añadir vitaminas (tales como vitaminas B vitaminas y biotina), minerales (tales como sales de magnesio y zinc y micronutrientes y nutrientes se pueden añadir al medio de fermentación Las levaduras alimentarias pueden incluir una levadura autolisada y extractos de plantas y se añaden normalmente a una concentración de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1 g/l, por ejemplo, de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,5 g/l. Pueden añadirse también opcionalmente bactericidas al medio de fermentación. Los ejemplos de bactericidas típicos incluyen virginiamicina nisina, eritromicina, oleandomicina, fiavomicina, y penicilina G. En el caso de virginiamicina, se prefiere una concentración de aproximadamente 1 ppm a aproximadamente 10 ppm.

Los organismos fermentadores de azúcar pentosa adecuado (por ejemplo, xilosa) adecuados incluyen levaduras. Dichas levaduras incluyen *Pachysolen tannophilus*, *Pichia stipites*, *Candida diddensii*, *Candida utilis*, *Candida tropicalis*, *Candida subtropicalis*, *Saccharomyces diastaticus*, *Saccharomycopsis fibuligera* y *Torula candida*. En algunos aspectos, el organismo fermentador de pentosa es una levadura recombinante que tiene al menos un transgén que expresa una enzima útil para convertir mono y/u oligosacáridos en etanol. Por ejemplo, el genoma de *P. stipites* se puede incorporar a *S. cerevisiae* mediante un método de redistribución de genes para producir una levadura híbrida capaz de producir bioetanol a partir de xilosa reteniendo a la vez la capacidad de sobrevivir en elevadas concentraciones de etanol.

En algunos aspectos de la presente invención, se utilizan organismos capaces de fermentar ambos azúcares de hexosa y pentosa para convertir monosacáridos en etanol. Típicamente,

dichos organismos son cepas de *S. cerevisiae* que tienen transgenes que codifican una o más enzimas capaces de convertir los azúcares pentosa a etanol.

En aspectos de la presente invención donde el medio de fermentación comprende biomasa  
5 celulósica tratada con enzimas que comprenden material celulósico no hidrolizado tal como  
celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, y fragmentos de los mismos, la fuente del organismo  
de fermentación puede opcionalmente comprender al menos una especie de organismo  
celulolítico capaz de romper y metabolizar la no hidrolizada celulosa, hemicelulosa y/o  
10 lignocelulosa presente en el medio de fermentación a etanol. Se conocen en la técnica  
dichos organismos celulolíticos e incluyen *Escherichia coli*, *Zymomonas mobilis*, *Bacillus*  
*stearothermophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridia thermocellum*,  
*Thermoanaerobacterium saccharolyticum*, *Pichia stipites* y *Pachysolen tannophilus*. También  
en el alcance de la presente invención están las bacterias celulolíticas que tienen uno o más  
15 transgenes que codifican la ruta productora de etanol. En algunos aspectos diferentes de la  
presente invención la fuente del organismo de fermentación comprende además al menos  
una especie de organismo celulolítico capaz de romper la hemicelulosa no hidrolizada  
presente en la mezcla de licuefacción combinada ajustada y capaz de sintetizar etanol.

Se pueden recuperar los productos de la fermentación utilizando cualquiera de diversos  
20 métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, se pueden separar los productos de la  
fermentación de otros componentes de la fermentación mediante destilación (por ejemplo,  
destilación azeotrópica extracción líquido-líquido, extracción sólido-líquido, adsorción,  
arrastre de gas, evaporación por membranas, pervaporación, centrifugación, cristalización,  
filtración, microfiltración, nanofiltración, intercambio iónico, o electrodiálisis. Como ejemplo  
25 específico, metanol, etanol, u otros productos de fermentación que tengan suficiente  
volatilidad se pueden recuperar de una mezcla de fermentación mediante destilación. En  
otro ejemplo, se puede aislar 1-butanol de una mezcla de fermentación utilizando métodos  
conocidos en la técnica para las fermentaciones de acetona-butanol-etanol ("ABE") (véase  
por ejemplo, Durre, Appl. Microbiol. Biotechnol. 49:639-648 (1998), Groot et al., Method.  
30 Biochem. 27:61-75 (1992), y las referencias citadas en el mismo), por ejemplo, mediante la  
eliminación de sólidos seguida por aislamiento mediante destilación, extracción líquido-  
líquido, adsorción, arrastre de gas, evaporación de membranas, o pervaporación. En otro  
ejemplo más, se puede aislar 1,3-propanediol a partir de una mezcla de fermentación  
mediante extracción con un disolvente orgánico, destilación, y cromatografía en columna  
35 (véase la patente de Estados Unidos N° 5.356.812). En otro ejemplo más, se pueden  
recoger aminoácidos de la mezcla de fermentación mediante métodos tales como adsorción  
mediante resina de intercambio iónico y/o cristalización. Un experto en la técnica puede

llevar a cabo la selección de un método de separación adecuado para cualquier producto de fermentación concreto.

De acuerdo con la presente invención, cualquiera de las fracciones orgánicas ricas tales como biorresiduos limpios, biomasa insoluble aislada, CDR y/o CSR, puede convertirse el producto secundario mediante métodos de gasificación mediante métodos de gasificación o los métodos de fermentación de gas de síntesis gas conocidos en la técnica. En los métodos de gasificación, la fracción rica orgánica se calienta a elevada temperatura en una atmósfera con aporte oxígeno o en ausencia esencial de oxígeno para producir gas de síntesis (principalmente hidrógeno y monóxido de carbono) que se hace reaccionar posteriormente para formar una corriente de gas que comprende uno o más compuestos de carbono. Por ejemplo, en una etapa de síntesis de Fischer-Tropsch ("FT"), H<sub>2</sub> y CO en gas de síntesis se hacen reaccionar sobre un catalizador (por ejemplo, hierro o cobalto) para formar un amplio rango de cadenas de hidrocarburos de diversas longitudes. La reacción FT se lleva a cabo normalmente a una presión de aproximadamente 20 bar a aproximadamente 40 bar en un intervalo de temperatura tanto de aproximadamente 200 °C a aproximadamente 250 °C o de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 350 °C. Se utilizan generalmente catalizadores de hierro en el intervalo de temperatura superior para producir olefinas para un producto de gasolina más ligero y catalizadores de cobalto a intervalo de temperatura inferior para producir cadenas más largas que se pueden craquear hasta diésel. La producción de metanol a partir de gas de síntesis implica normalmente hacer reaccionar CO, H<sub>2</sub> y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub> sobre un catalizador de óxido de zinc-cobre donde la reacción tiene lugar vía reacción por desplazamiento con agua seguido por la hidrogenación de CO<sub>2</sub>. El procedimiento se lleva a cabo normalmente a una presión de aproximadamente 50 a aproximadamente 100 bares (10 MPa) y comprendida en un intervalo de temperatura de aproximadamente 220 °C a aproximadamente 300 °C. La síntesis de alcoholes mixtos a partir de gas de síntesis es similar a ambas síntesis FT y la síntesis de metanol que utiliza catalizadores modificados a partir de aquellos métodos con adición de metales alcalino para promover la reacción alcohólica mixta, donde la relación molar de H<sub>2</sub> a CO es de aproximadamente 1:1 a aproximadamente 1,2:1.

En los métodos de fermentación de gas de síntesis, una variedad de microorganismos puede usar gas de síntesis como fuente de energía y carbono para producir productos de fermentación tales como etanol, butanol, acetato, formiato y butirato. Dichos organismos incluyen *Acetobacterium woodii*, *Butyribacterium methylotrophicum*, *Clostridium carboxidivorans P7*, *Eubacterium limosu*, *Moorella* y *Peptostreptococcus productus*. Por ejemplo, determinados microorganismos anaerobios pueden producir etanol y otros

productos útiles de CO mediante fermentación. Por ejemplo: la patente de los EE.UU. con número 5.173.429 describe *Clostridium ljungdahlii* ATCC N<sup>o</sup> 49587, un microorganismo anaerobio que produce etanol a partir de gas de síntesis; la patente de los EE.UU. con número 5.807.722 describe un método y un aparato para convertir el gas de síntesis en  
5 ácidos orgánicos y alcoholes utilizando *Clostridium ljungdahlii* ATCC N<sup>o</sup> 55380; la patente de los EE.UU. con número 6.136.577 describe un método y un aparato para convertir gas de síntesis en etanol utilizando *Clostridium ljungdahlii* ATCC N<sup>o</sup> 55988 y 55989; La publicación de los EE.UU. N<sup>o</sup> 20070275447 describe una especie bacteriana de clostridio (*Clostridium carboxidivorans*, ATCC BAA-624, "P7") que puede sintetizar biocombustibles a partir de gas  
10 de síntesis; y la patente de los EE.UU. con número 7.704.723 describe una especie bacteriana de clostridium (*Clostridium ragsdalei*, ATCC BAA-622, "P11") que puede sintetizar biocombustibles a partir de gases residuales. La publicación estadounidense 20140120591 describe una especie de *Clostridium tyrobutyricum* acidogénica (ITRI04001) que puede sintetizar ácidos grasos volátiles (por ejemplo, ácido fórmico, ácido acético, ácido  
15 láctico, ácido propanoico, ácido butírico, y sus mezclas) a partir de gas de síntesis. Las condiciones de fermentación son habitualmente presión atmosférica a 2 bares (200 kPa), y a un intervalo de temperatura de aproximadamente 15 °C a aproximadamente 55 °C, con la selección de condiciones específicas del fermentador y pH dependiente del microorganismo fermentador.

20

Cuando se introducen elementos de la presente invención o aspecto(s) o realización(es) de la misma, los artículos "un", "uno", "el" y "dicho" se entiende como que significan que hay uno o más de los elementos. Los términos "comprende", "incluye" y "tiene" están previstos para ser inclusivos y significa que puede haber elementos adicionales a los elementos  
25 relacionados.

Esta memoria descriptiva escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también permiten a cualquier persona experta en la materia llevar a la práctica la invención, incluyendo la preparación y el uso de cualesquiera dispositivos o  
30 sistemas y llevar a cabo cualesquiera métodos incorporados. El alcance patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se le ocurran al experto en la materia. Estos otros ejemplos están previstos para estar comprendidos en el alcance de las reivindicaciones si tienen elementos que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos equivalentes con diferencias  
35 poco importantes respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de  
5 biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de  
plásticos, comprendiendo el método:

(a) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una primera etapa de clasificación para  
formar (1) una primera corriente de rechazo pasante que tiene un tamaño promedio de  
10 partícula menor de 6 mm a 15 mm y que está enriquecida en compuestos inorgánicos en  
comparación con la corriente de biorresiduo en bruto y (2) una primera corriente de hundido  
enriquecida en biorresiduo en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto, en la  
que la corriente pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos  
inorgánicos;

15 (b) clasificar la primera corriente de hundido en una segunda etapa de clasificación para  
formar una segunda corriente de rechazo y una corriente de biorresiduo intermedia, en la  
que la segunda corriente de rechazo tiene mayor densidad en gramos por  $\text{cm}^3$  en  
comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente de rechazo  
20 está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo  
intermedia;

(c) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una tercera etapa de clasificación para  
formar una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante, en la que la  
25 segunda corriente de hundido está enriquecida en plástico en comparación con la corriente  
de biorresiduo intermedia y en la que la segunda corriente pasante tiene un tamaño  
promedio de partícula menor de 50 mm a 70 mm y está enriquecida en biorresiduos en  
comparación con la corriente de biorresiduo intermedia;

30 (d) clasificar la segunda corriente de hundido en una cuarta etapa de clasificación para  
formar una corriente de material plástico enriquecida en componentes reciclables de plástico  
en comparación con la segunda corriente de hundido y una corriente de biorresiduo grueso  
enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de hundido; y

35 (e) combinar la corriente de biorresiduo grueso con la segunda corriente pasante para  
formar la corriente de biorresiduo limpia.

2. El método de la reivindicación 1 en el que la primera etapa de clasificación es una etapa de fraccionamiento mediante cribado usando una primera criba que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm o de 8 mm a 12 mm, la segunda etapa de clasificación es una etapa de separación por densidad, la tercera etapa de clasificación es una etapa de fraccionamiento mediante cribado usando una segunda criba que tiene aberturas de 50 mm a 70 mm o de 55 mm a 65 mm, y la cuarta etapa de clasificación es una etapa por clasificación óptica.
3. El método de la reivindicación 2 que comprende además (a) clasificar la corriente de biorresiduos limpia a través de una tercera criba que tiene aberturas de 20 mm a 30 mm para formar una corriente pasante de biorresiduos limpia y una corriente de hundido de biorresiduos limpia, (b) moler la corriente de hundido de biorresiduos limpia para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a aproximadamente 30 mm y combinar la corriente de hundido de biorresiduos limpia molida con la corriente pasante de biorresiduos limpia.
4. El método de la reivindicación 2 o la reivindicación 3 en el que la primera, segunda y tercera cribas, cada una de ellas, están integradas en un tromel rotatorio.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4 en el que al menos una de la primera criba, la segunda criba, o la tercera criba tiene configuración de abertura cuadrada.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en el que la corriente de biorresiduos en bruto es una fracción clasificada de residuos sólidos urbanos.
7. Un método para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de plásticos, comprendiendo el método:
- (a) clasificar la corriente de biorresiduo en bruto en una primera etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente pasante que tiene un tamaño promedio de partícula menor de aproximadamente 25 mm a 50 mm y que está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en compuestos de biorresiduo en comparación con la corriente de biorresiduo en bruto;

(b) clasificar la primera corriente pasante en una segunda etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de rechazo pasante que tiene un tamaño promedio de partícula menor de 6 mm a 15 mm y que está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la primera corriente pasante y (2) una segunda corriente de hundido enriquecida en biorresiduo en comparación con la primera corriente pasante, en la que la primera corriente de rechazo pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos;

(c) clasificar la primera corriente de hundido en una tercera etapa de clasificación para formar (1) una primera corriente de material plástico enriquecida en material plástico en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos de la primera corriente de material plástico tienen un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 80 mm, (2) una corriente de rechazo enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, y (3) una primera corriente de biorresiduos limpia enriquecida en biorresiduos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos contenidos en la misma tienen un tamaño promedio de partícula menor de 50 mm;

(d) clasificar la primera corriente de material plástico en una cuarta etapa de clasificación para formar una segunda corriente de material plástico enriquecida en componentes de plástico reciclable en comparación con la primera corriente de material plástico y una segunda corriente de biorresiduo limpia enriquecida en biorresiduos en comparación con la primera corriente de material plástico; y

(e) combinar la primera corriente de biorresiduos limpia y la segunda corriente de biorresiduos limpia para formar la corriente de biorresiduos limpia.

8. El método de la reivindicación 7 en el que la primera etapa de clasificación es una etapa de fraccionamiento mediante cribado usando una primera criba que tiene aberturas de 25 mm a 50 mm o de 8 mm a 12 mm, la segunda etapa de clasificación es una etapa de fraccionamiento mediante cribado usando una segunda criba que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm o de 8 mm a 12 mm, la tercera etapa de clasificación es una etapa de separación por rayos X, y la cuarta etapa de clasificación es una etapa de clasificación óptica.

9. El método de reivindicación 8 en el que la primera y la segunda criba, cada una de ellas, está integrada en un tromel rotatorio.

10. El método de reivindicación 8 o la reivindicación 9 en el que al menos una de la primera criba o la segunda tiene aberturas cuadradas.

5 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10 en el que (a) la primera corriente de biorresiduos limpia se clasifica adicionalmente en la cuarta etapa de clasificación para formar dos corrientes enriquecidas en biorresiduos a partir de la anterior, en la que los objetos contenidos en dicha primera corriente de biorresiduos tienen un tamaño promedio de partícula menor de 25 mm, y en la que los objetos contenidos en dicha  
10 segunda corriente de biorresiduos tienen un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 50 mm, (b) moler dicha segunda corriente de biorresiduos enriquecida en biorresiduos para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a aproximadamente 30 mm, y (3) combinar dicha primera corriente de biorresiduos, dicha segunda corriente de biorresiduos molida y la segunda corriente de biorresiduos limpia para  
15 formar la corriente de biorresiduos limpia.

12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11 que comprende además moler la segunda corriente de biorresiduos limpia para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a aproximadamente 30 mm y combinar dicha  
20 corriente molida con la primera corriente de biorresiduos limpia.

13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12 en el que la corriente de biorresiduos en bruto es una fracción clasificada de residuos sólidos urbanos.

25 14. Un aparato para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de plásticos, comprendiendo el aparato:

(a) una primera criba de clasificación que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm para recibir y  
30 clasificar la corriente de biorresiduos en bruto para formar (1) una primera corriente de rechazo pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto, en la que la corriente pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos;

35 (b) un separador por densidad para recibir y clasificar la primera corriente de hundido para formar una segunda corriente de rechazo y una corriente de biorresiduo intermedia en la que

la segunda corriente de rechazo tiene mayor densidad en gramos por  $\text{cm}^3$  en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente de rechazo está enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia;

5

(c) una segunda criba de clasificación que tiene un tamaño de abertura de aproximadamente 50 mm a aproximadamente 70 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos intermedia para formar una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante, en la que la segunda corriente de hundido está enriquecida en plástico en comparación con  
10 la corriente de biorresiduo intermedia y la segunda corriente pasante está enriquecida en biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia;

15

(d) un clasificador óptico para recibir y clasificar la segunda corriente de hundido para formar una primera corriente de clasificación óptica enriquecida en componentes de plástico  
reciclable en comparación con la segunda corriente de hundido y una segunda corriente de  
clasificación óptica enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda corriente de  
hundido; y

20

(e) en la que la segunda corriente de clasificación óptica y la segunda corriente pasante se combinan para formar la corriente de biorresiduo limpia.

15. El aparato de la reivindicación 14 que comprende además:

25

(a) una tercera criba de clasificación que tiene aberturas de 20 mm a 30 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos limpia para formar una corriente pasante de  
biorresiduos limpia y una corriente de hundido de biorresiduos limpia; y

30

(b) un molino para recibir y moler la corriente de hundido de biorresiduos limpia para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a  
aproximadamente 30 mm,

en el que la corriente de hundido de biorresiduos limpia molida se combina con la corriente pasante de biorresiduos limpia.

35

16. El aparato de la reivindicación 14 o la reivindicación 15 en el que la primera criba tiene aberturas de aproximadamente 8 mm a aproximadamente 12 mm.

17. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16 en el que la segunda criba tiene aberturas de 55 mm a 65 mm.

18. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17 en el que la primera,  
5 segunda y tercera cribas, cada una de ellas, está integrada en un tromel rotatorio.

19. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18 en el que al menos una de la primera criba, la segunda criba, o la tercera criba tiene aberturas cuadradas.

10 20. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 14 a 19 en el que la corriente de biorresiduos en bruto es una fracción clasificada de residuos sólidos urbanos.

21. Un aparato para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos, y una mezcla de  
15 plásticos, comprendiendo el aparato:

(a) una primera criba de clasificación que tiene aberturas de aproximadamente 25 mm a aproximadamente 50 mm para recibir y clasificar la corriente de biorresiduos en bruto para formar (1) una primera corriente pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en  
20 comparación con la corriente de biorresiduos en bruto y (2) una primera corriente de hundido enriquecida en compuestos de biorresiduos en comparación con la corriente de biorresiduos en bruto;

(b) una segunda criba de clasificación que tiene aberturas de 6 mm a 15 mm para recibir y  
25 clasificar la primera corriente pasante para formar (1) una segunda corriente de rechazo pasante enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la primera corriente pasante y (2) una segunda corriente de hundido enriquecida en biorresiduos en comparación con la primera corriente pasante, en la que la segunda corriente pasante comprende al menos un 50 por ciento en peso de compuestos inorgánicos;

30 (c) un separador por rayos X para recibir y clasificar la primera corriente de hundido para formar (1) una primera corriente de separación por rayos X enriquecida en material plástico en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, en la que los objetos de la corriente de separación por rayos X tienen  
35 un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 80 mm, (2) una segunda corriente de separación por rayos X enriquecida en compuestos inorgánicos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y la segunda corriente de hundido, y (3) una

corriente de biorresiduos limpia que comprende al menos una corriente de separación por rayos X enriquecida en biorresiduos en comparación con la combinación de la primera corriente de hundido y una segunda corriente de hundido, en la que los objetos contenidos en la misma tienen un tamaño promedio de partícula menor de 50 mm; y

5

(d) un clasificador óptico para recibir y clasificar la primera corriente de separación por rayos X para formar una primera corriente de clasificación óptica enriquecida en componentes de plástico reciclable en comparación con la segunda corriente de hundido y una segunda corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos en comparación con la segunda

10

corriente de hundido; y

en el que la al menos una corriente de separación por rayos X enriquecida en biorresiduos y la segunda corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos se combinan para formar la corriente de biorresiduos limpia.

15

22. El aparato de la reivindicación 21 en el que la segunda criba tiene aberturas de aproximadamente 8 mm a aproximadamente 12 mm.

23. El aparato de la reivindicación 21 o la reivindicación 22 en el que la primera y la segunda

20

criba, cada una de ellas, están integradas en un tromel rotatorio.

24. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23 en el que al menos una de la primera criba o la segunda criba tiene aberturas cuadradas.

25

25. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21 a 24 que comprende además

(a) formar dos corrientes de separación por rayos X enriquecidas en biorresiduos, en la que los objetos contenidos en la primera corriente de biorresiduos tienen un tamaño promedio de partícula menor de 25 mm, y en la que los objetos contenidos en dicha segunda corriente

30

tienen un tamaño promedio de partícula de 25 mm a 50 mm; y

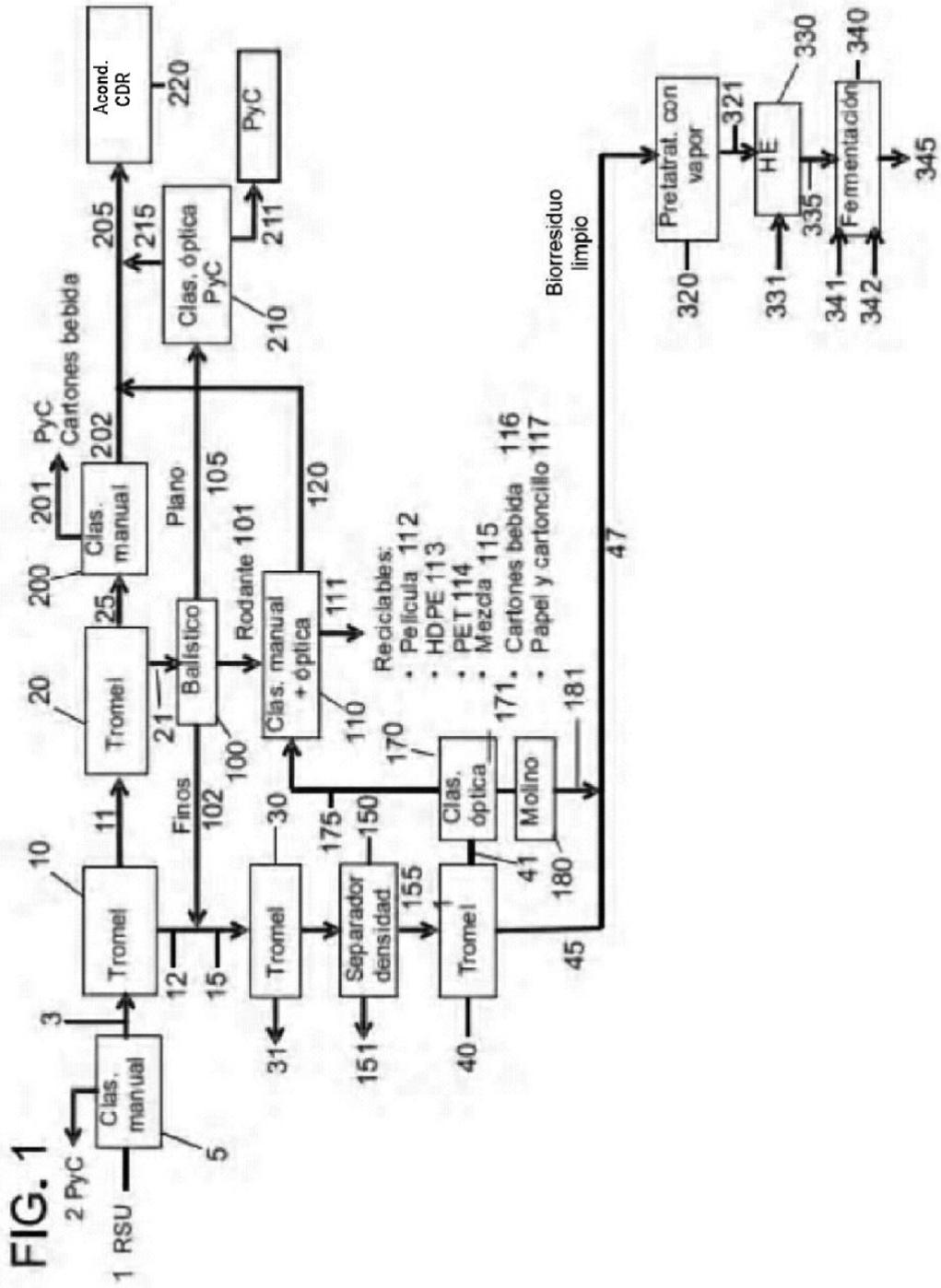
(b) un molino para recibir y moler la segunda corriente enriquecida en biorresiduos para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a aproximadamente 30 mm,

35

en la que la primera corriente enriquecida en biorresiduos se combina con la segunda corriente molida enriquecida en biorresiduos para formar la corriente de biorresiduos limpia.

26. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25 que comprende además un  
molino para recibir y moler la corriente de clasificación óptica enriquecida en biorresiduos  
para conseguir un tamaño promedio de partícula de aproximadamente 15 mm a  
5 aproximadamente 30 mm y combinar dicha corriente molida con la corriente de biorresiduos  
limpia.

27. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21 a 26 en el que la corriente de  
biorresiduos en bruto es una fracción clasificada de residuos sólidos urbanos.



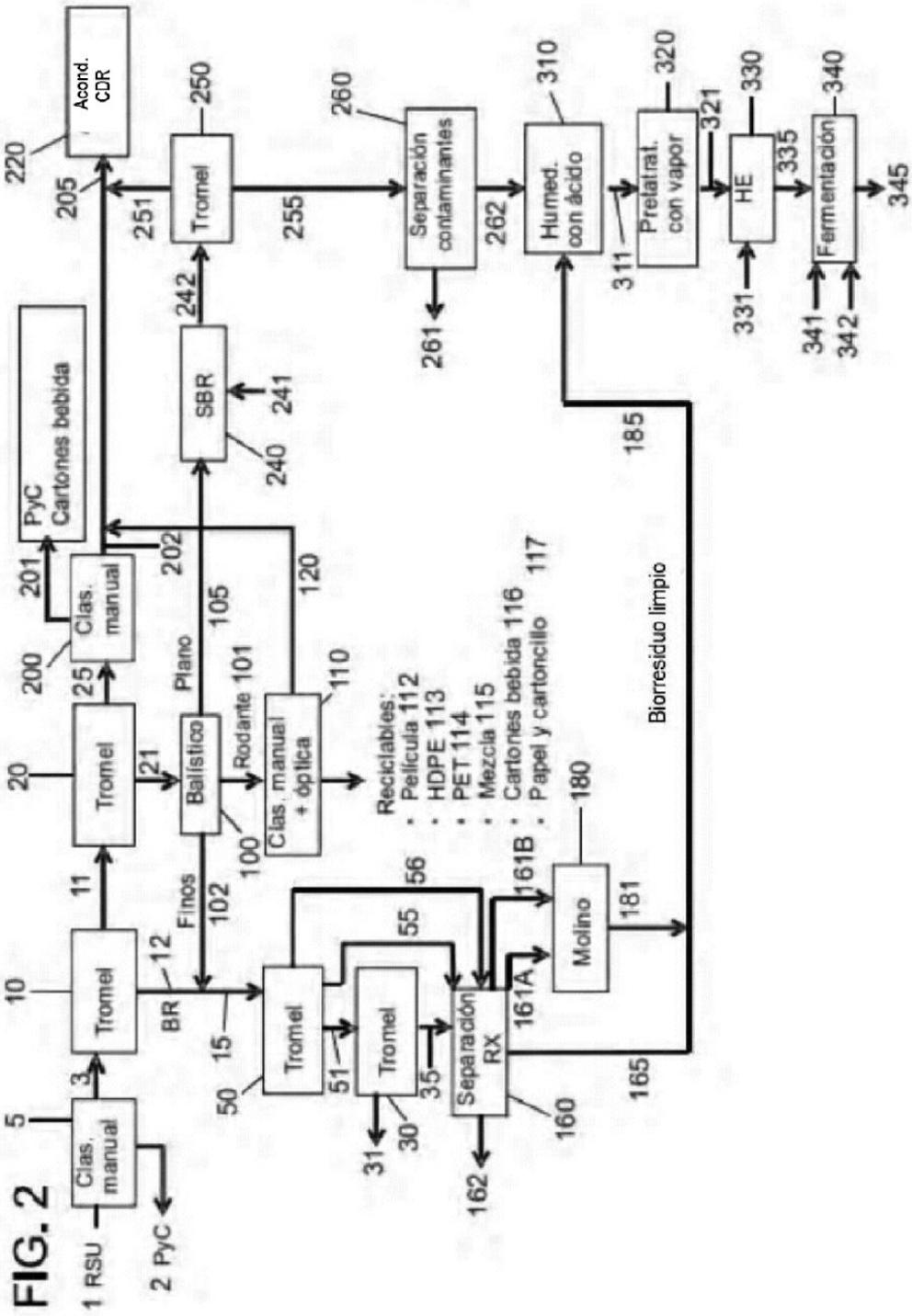




FIG. 4

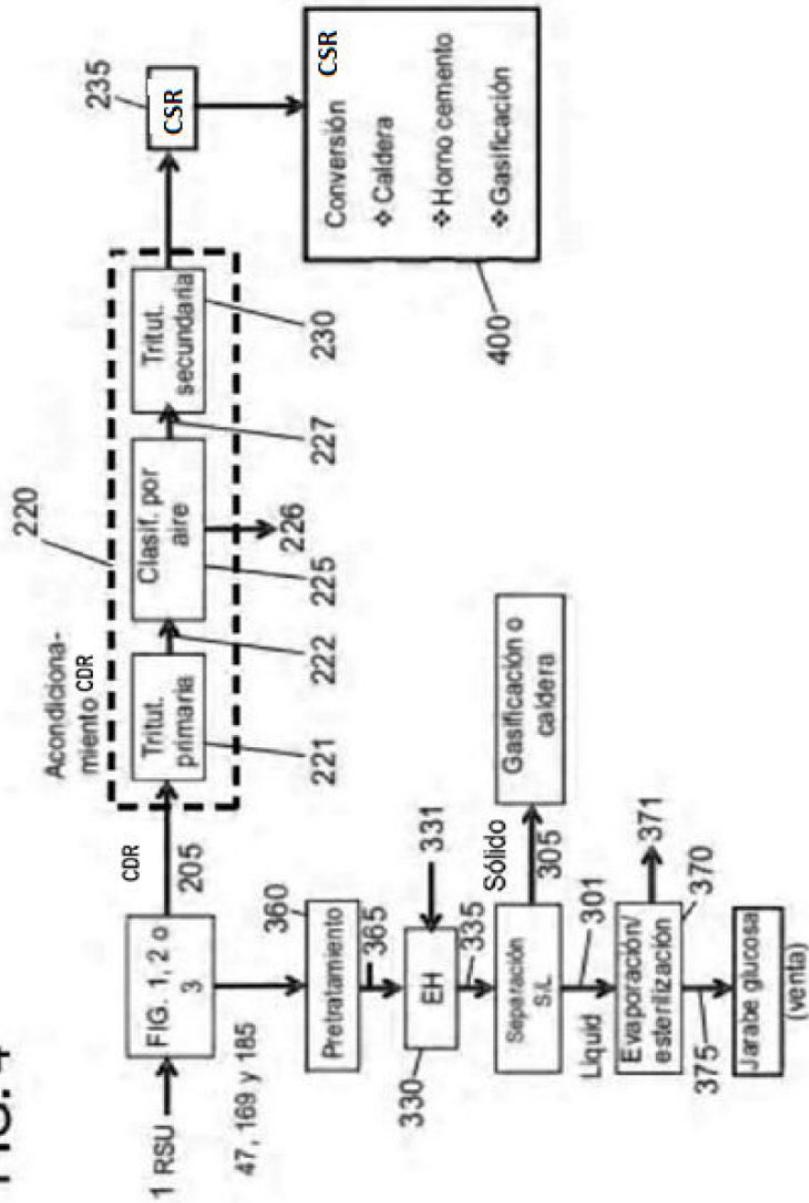


FIG. 5

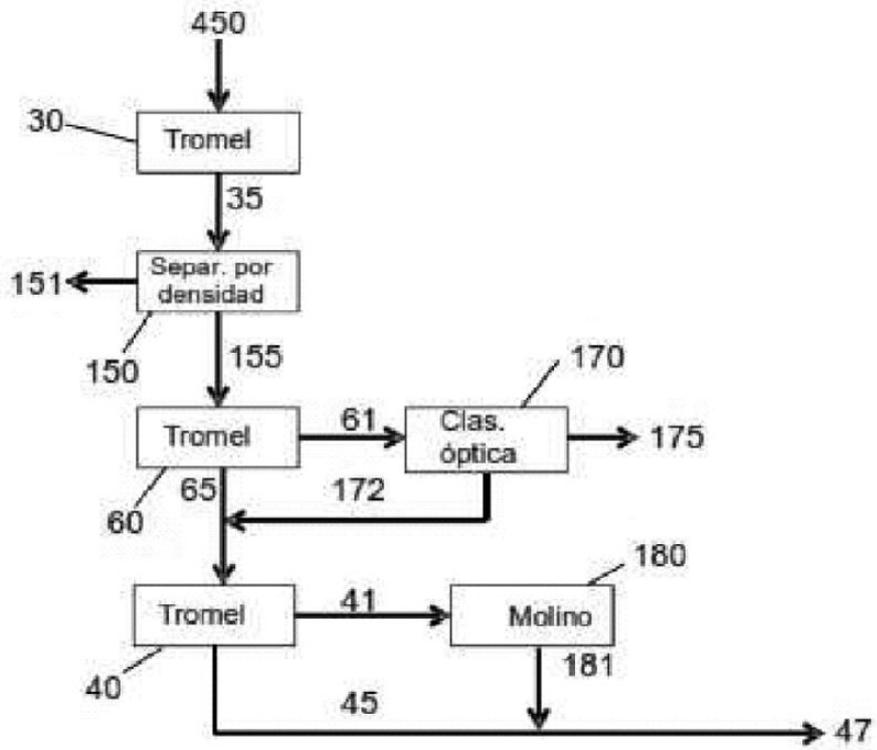


FIG. 6

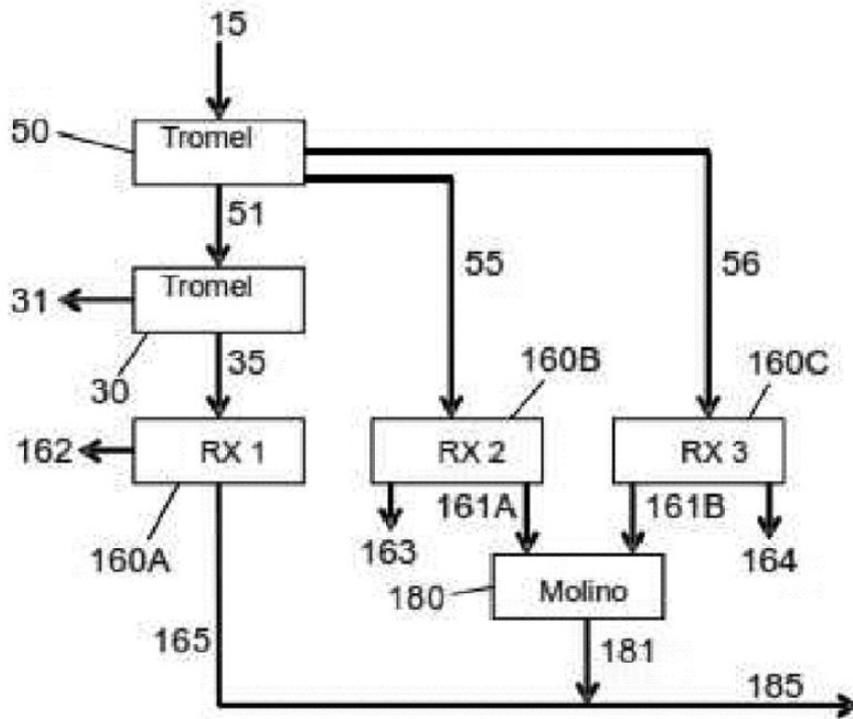
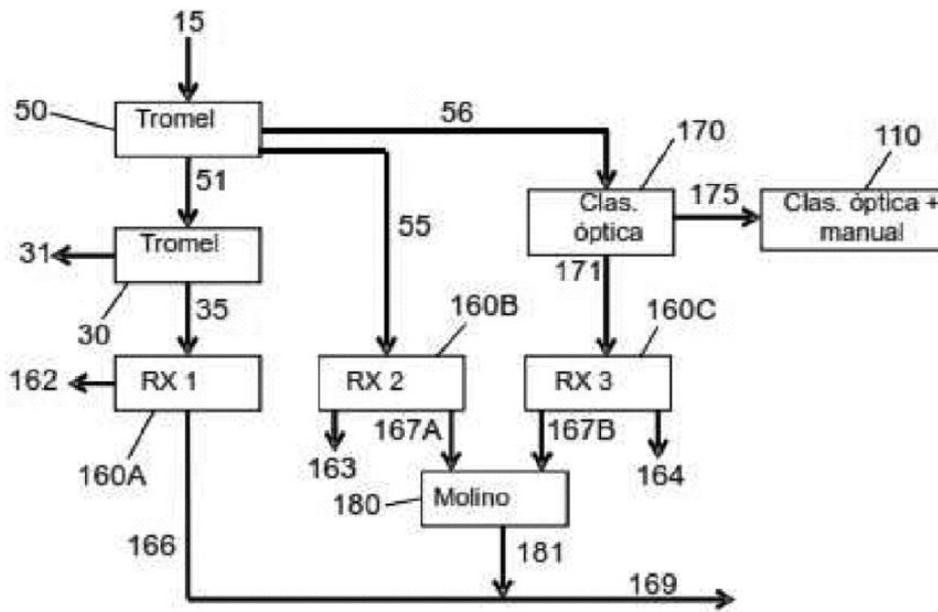


FIG. 7





②① N.º solicitud: 201431440

②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.09.2014

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **B07B15/00** (2006.01)  
**B09B3/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	GB 2480318 A (ADVANCED RECYCLING TECH) 16/11/2011, resumen; figura.	1, 7, 14, 21
A	US 2009095673 A1 (CHOATE CHRIS E et al.) 16/04/2009, resumen; figura 4.	1, 7, 14, 21
A	US 2007187299 A1 (VALERIO THOMAS A) 16/08/2007, resumen; figuras 1A y 1B.	1, 7, 14, 21
A	WO 2004012866 A2 (WASTECH LTD et al.) 12/02/2004, resumen; figura 1.	1, 7, 14, 21

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
28.07.2015

Examinador  
R. E. Reyes Lizcano

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B09B, B07B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 28.07.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-27	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-27	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	GB 2480318 A (ADVANCED RECYCLING TECH)	16.11.2011

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El objeto de la invención es un método para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprende celulosa, compuestos inorgánicos y una mezcla de plásticos, y un aparato para llevar a cabo dicho método.

En relación a las reivindicaciones independientes 1 y 7, que hacen referencia al método, el documento D01 (resumen; figura 1) divulga un método de procesamiento de material de desecho para producir productos combustibles que comprende las etapas de:

- recepción del material de desecho;
- selección de elementos específicos para su eliminación de los residuos;
- reducción mecánica del tamaño de algunos residuos utilizando un trommel;
- separación mecánica de los residuos en al menos dos fracciones de tamaño utilizando un separador de densidad y un trommel;
- reducción mecánica del tamaño de algunos residuos en al menos dos fracciones de tamaño para formar flóculos usando una trituradora de eje vertical;
- separación mecánica de los flóculos en al menos dos fracciones de densidad utilizando un clasificador de aire; y
- secado flash de la más ligera de las al menos dos fracciones de densidad.

Sin embargo, el documento D01 no divulga un método para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprenda las etapas definidas en las reivindicaciones 1 ó 7, y se considera que dichas etapas no serían evidentes para un experto en la materia.

Por lo tanto, la reivindicación independiente 1 y sus dependientes 2 a 6, y la reivindicación independiente 7 y sus dependientes 8 a 13 cumplen los requisitos de novedad y actividad inventiva a la vista del estado de la técnica conocido (art. 6.1 y 8.1 LP).

En relación a las reivindicaciones independientes 14 y 21, que hacen referencia al aparato, el documento D01 (resumen; figura 1) divulga una planta de tratamiento de residuos operable de acuerdo con un método de procesamiento de material de desecho para producir productos combustibles que comprende las etapas de:

- recepción del material de desecho;
- selección de elementos específicos para su eliminación de los residuos;
- reducción mecánica del tamaño de algunos residuos utilizando un trommel;
- separación mecánica de los residuos en al menos dos fracciones de tamaño utilizando un separador de densidad y un trommel;
- reducción mecánica del tamaño de algunos residuos en al menos dos fracciones de tamaño para formar flóculos usando una trituradora de eje vertical;
- separación mecánica de los flóculos en al menos dos fracciones de densidad utilizando un clasificador de aire; y
- secado flash de la más ligera de las al menos dos fracciones de densidad.

Sin embargo, el documento D01 no divulga un aparato para llevar a cabo un método para preparar una corriente de biorresiduos limpia a partir de una corriente de biorresiduos en bruto que comprenda las características técnicas definidas en las reivindicaciones 14 ó 21, y se considera que dichas características técnicas no serían evidentes para un experto en la materia.

Por lo tanto, la reivindicación independiente 14 y sus dependientes 15 a 20, y la reivindicación independiente 21 y sus dependientes 22 a 27 cumplen los requisitos de novedad y actividad inventiva a la vista del estado de la técnica conocido (art. 6.1 y 8.1 LP).