

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 020 563**

51 Int. Cl.:

**A23J 3/26** (2006.01)

**A23P 30/20** (2006.01)

**B29C 48/92** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2020 E 20186396 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 3939436**

54 Título: **Controles de supervisión de inteligencia artificial para la producción de sustitutos cárnicos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.05.2025**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (33.33%)  
Bruggerstrasse 66  
5400 Baden, CH;  
PLANTED FOODS AG (33.33%) y  
ETH ZÜRICH (33.33%)**

72 Inventor/es:

**HO, CHAU-HON;  
SPUDIC, VEDRANA;  
LISTMANN, KIM;  
SCHOENBORN, SANDRO;  
BORRELLI, ELSI-MARI;  
SOMMER, PHILIPP;  
MERCANGOEZ, MEHMET;  
WINDHAB, ERICH J.;  
STIRNEMANN, ERIC;  
BÖNI, LUKAS y  
RÜHS, PATRICK**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 3 020 563 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Controles de supervisión de inteligencia artificial para la producción de sustitutos cárnicos

5 CAMPO TÉCNICO

La presente solicitud se refiere a aparatos, métodos y sistemas para la producción de sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas y a controles de inteligencia artificial supervisores para dichos aparatos, métodos y sistemas.

10 ANTECEDENTES

El crecimiento de la población humana y los cambios sociodemográficos están incrementando la presión sobre los recursos naturales para proporcionar más y diferentes tipos de alimentos. Las proteínas son uno de los nutrientes clave de la dieta humana. Las proteínas de origen animal procedentes de la carne son una fuente de proteínas cada vez más popular e importante para la dieta humana; sin embargo, el impacto ecológico de la ganadería y la producción de la carne es también un problema significativo y creciente. Los sustitutos cárnicos alternativos a base de proteínas, tal como los sustitutos cárnicos a base de proteínas vegetales y los sustitutos cárnicos a base de proteínas de insectos, ofrecen una fuente de alimentación alternativa que pretende proporcionar o superar los beneficios nutricionales de la carne.

Un reto importante para los sustitutos cárnicos basados en proteínas alternativas es proporcionar las características estéticas y físicas deseadas (por ejemplo, sabor, textura, dureza, apariencia y comportamiento en la cocción, que son características tanto estéticas como físicas) que emulen o superen las de la carne de origen animal. El control de las características estéticas de los sustitutos cárnicos alternativos a base de proteínas es un problema complejo en donde influyen múltiples variables, tal como las características de los ingredientes (por ejemplo, la composición química, la composición física y la estructura, la pureza y otras características de los ingredientes y aditivos introducidos en el proceso) y los ajustes del proceso (por ejemplo, la tasa de alimentación de los ingredientes, los caudales del proceso, las temperaturas del proceso y otros parámetros de control).

La Figura 1 es un diagrama esquemático que representa algunos aspectos de un sistema 100 del estado de la técnica anterior para obtener un producto sustitutivo cárnico alternativo a base de proteínas. En el sistema 100, uno o más operador(es) humano(s) 102 genera(n) una receta 104 que incluye(n) ingredientes 106 para ser proporcionados a una máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 112 y ajustes de proceso 110 que son proporcionados a un controlador de máquina 103 configurado para controlar la operación de la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 112. La máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 112 incluye uno o más alimentadores 114 que suministran uno o más ingredientes 106 respectivos a una extrusora 108 que incluye uno o más tornillos giratorios 116 que están dispuestos y son giratorios dentro de un cilindro estacionario o cámara 118 que define una longitud de una trayectoria de procesamiento.

Los ingredientes 106 pueden incluir, por ejemplo, una o más proteínas en polvo alternativas (por ejemplo, harinas vegetales y/o harinas a base de insectos), agua y aceite, y también pueden incluir aditivos, rellenos, auxiliares de procesamiento y similares. Los uno o más alimentadores 114 introducen los ingredientes 106 en la extrusora 108 en varios puntos a lo largo de la trayectoria de procesamiento. La extrusora 108 mezcla y hace avanzar los ingredientes 106 a lo largo de la trayectoria de procesamiento, controla la temperatura en diferentes lugares a lo largo de la trayectoria de procesamiento, y extrude una mezcla procesada a través de una matriz 120. La mezcla procesada extruida puede someterse entonces a una o más operaciones de post-procesamiento 124 para configurar la salida de la mezcla procesada desde la matriz 120 en la forma final de un producto sustitutivo cárnico 126.

Los ajustes del proceso 110 pueden incluir cantidades o tasas de introducción de los ingredientes 106, la velocidad de rotación de los uno o más tornillos 116, ajustes de temperatura, presión y/o humedad en una o más ubicaciones a lo largo del recorrido de la trayectoria de procesamiento, y otros ajustes operativos de la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 112. El sistema 100 se basa en la entrada de ajuste 122 de los uno o más operador(es) humano(s) 102 para ajustar los ingredientes 106, los ajustes de procesamiento 110, y las operaciones de post-procesamiento 124. La entrada de ajuste 122 se basa en la inspección y evaluación, por parte del operador(es), de un producto en proceso en uno o más puntos del proceso (por ejemplo, muestras de producto tomadas de la salida de la matriz 120 o en uno o más puntos en las operaciones de post-procesado 124) para conseguir las características deseadas del producto sustitutivo cárnico 126 y, por lo tanto, depende de la pericia y experiencia del operador(es). En el documento WO-2016/142788 se conoce un método y un sistema para obtener análogos de la carne a base de proteínas. Los sistemas de extrusión con sistemas de medición en línea para productos alimenticios se conocen por el documento WO-2009/143840.

Hasta ahora, el logro de las características estéticas deseadas para los sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas ha requerido depender de la pericia y de la experiencia humanas conseguidas mediante costosas repeticiones de ensayo y error. Lo que antecede impone varias desventajas y limitaciones. Por ejemplo, puesto que el logro de las características estéticas deseadas depende de la experiencia de expertos humanos individuales, la producción está expuesta al riesgo de que los expertos no estén disponibles. Además, aunque se conocen que las

técnicas de control de inteligencia artificial son útiles en algunos contextos, son muy específicas del proceso y no se han desarrollado hasta el punto de ser aplicables de forma general al control de procesos. Además, estas técnicas han demostrado ser ineficaces o ineficientes en una serie de aplicaciones. Incluso utilizando formas generales de dichas técnicas, la adaptación de un proceso hacia productos alimentarios optimizados y personalizados es una propuesta que lleva mucho tiempo y puede requerir semanas y meses de experimentos basados en la prueba y el error, con cambios limitados para el éxito y sus grados de calidad. La falta de información relevante sobre parámetros clave ha sido otro obstáculo tanto para el control por expertos humanos como para los métodos de control por inteligencia artificial. Otra variable de confusión es la presencia de complejidad composicional, tal como los comportamientos fluidos no newtonianos y no lineales que presentan los materiales alternativos de los productos sustitutos de la carne a base de proteínas. Otro obstáculo es la variación desconocida de los ingredientes. Sigue existiendo una importante necesidad insatisfecha de los aparatos, métodos, sistemas y técnicas exclusivos descritos en el presente documento.

#### EJEMPLOS DE FORMA DE REALIZACIÓN

Para abordar las deficiencias y problemas anteriores, los inventores han desarrollado una serie de soluciones técnicas únicas que incluyen los aparatos, métodos, sistemas, procesos y técnicas que se describen en el presente documento. Para los fines de ilustrar algunos aspectos de la misma, se hará referencia ahora a las formas de realización, a modo de ejemplo, ilustradas en los dibujos que acompañan a la presente invención.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de la técnica anterior para obtener sustitutos cárnicos alternativos a base de proteínas.

La Figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra algunos aspectos de un sistema, a modo de ejemplo, para obtener sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas.

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra algunos aspectos de un ejemplo de puesta en práctica de un sistema para obtener sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas tales como el sistema de la Figura 2.

La Figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra algunos aspectos de un ejemplo de puesta en práctica de un sistema para obtener sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas tales como el sistema de la Figura 2.

La Figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra algunos aspectos de un ejemplo de puesta en práctica de un sistema para obtener sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas tales como el sistema de la Figura 2.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE FORMAS DE REALIZACIÓN A MODO DE EJEMPLO

Con referencia a la Figura 2, se ilustra un sistema 200 para obtener un producto sustituto cárnico alternativo a base de proteína 226. El sistema 200 incluye una máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212 que puede ser la misma que o similar a la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 112 del sistema 100. Por ejemplo, la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212 incluye uno o más alimentadores 214 que suministran uno o más ingredientes respectivos 206 a una extrusora 208 que incluye uno o más tornillos giratorios 216 que están dispuestos y giran dentro de un cilindro estacionario o cámara 218 que define una longitud de una trayectoria de procesamiento. Los ingredientes 206 pueden incluir, por ejemplo, una o más proteínas alternativas en polvo (por ejemplo, harinas vegetales y/o harinas a base de insectos), agua y aceite, y también pueden incluir aditivos, rellenos, auxiliares de procesamiento y similares.

La máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212 es un ejemplo de una máquina de proceso de extrusión por vía húmeda configurada para recibir, mezclar y transportar una pluralidad de ingredientes a una matriz de extrusión 220, incluyendo la pluralidad de ingredientes un polvo de proteína, un aceite y agua (incluyendo agua en fase líquida, vapor o sólida). Por ejemplo, los uno o más alimentadores 214 introducen los ingredientes 206 en la extrusora 208 en varias ubicaciones a lo largo de la trayectoria de procesamiento. En algunas formas de realización, los uno o más alimentadores 214 pueden incluir los uno o más alimentadores de polvo configurados para introducir el polvo de proteína al paso de extrusión, los uno o más alimentadores de agua configurados para añadir el agua al paso de extrusión, y los uno o más alimentadores de aceite configurados para añadir el aceite al paso de extrusión.

La extrusora 208 mezcla y hace avanzar los ingredientes 206 a lo largo del paso de procesamiento. Uno o más sistemas de calentamiento y/o sistemas de enfriamiento pueden estar acoplados con la extrusora de tornillo y configurados para calentar o enfriar, de manera selectiva, una o más ubicaciones a lo largo del recorrido del paso de extrusión de forma efectiva para controlar la temperatura del proceso en diferentes ubicaciones a lo largo del recorrido del paso de procesamiento, y extruye una mezcla procesada a través de la matriz de extrusión 220. Conviene señalar que la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212 es simplemente un ejemplo de una máquina de extrusión por vía húmeda configurada para recibir, mezclar y transportar una pluralidad de ingredientes a una matriz de extrusión y que se contemplan una serie de alternativas y variaciones tal como se le ocurrirá a un experto en esta técnica con

el beneficio de la presente invención. Conviene señalar, además, que una diversidad de máquinas de extrusión por vía húmeda y procesos de extrusión por vía húmeda pueden ser utilizados en formas de realización de conformidad con la presente invención.

5 Varias formas de realización, según la presente invención, comprenden varios tipos de máquinas y procesos de extrusión por vía húmeda a macroescala, por ejemplo, extrusoras de un único husillo, extrusoras de doble husillo, extrusoras multihusillo de orden superior, amasadoras, extrusoras amasadoras, extrusoras contrarrotantes, extrusoras corrotantes y otros tipos de máquinas y procesos de extrusión a macroescala. De manera adicional o alternativa, las máquinas y procesos de extrusión por vía húmeda pueden comprender extrusión a microescala, por ejemplo, mediante  
10 deposición de filamento, fabricación de filamento fundido, modelado de filamento fundido u otras técnicas de impresión 3D o extrusión de material a microescala.

Las máquinas y procesos de extrusión por vía húmeda, según la presente invención, pueden realizar y comprender respectivamente una serie de actos. Dichos actos pueden incluir la mezcla de los uno o más ingredientes secos y de  
15 los uno o más ingredientes líquidos para formar una mezcla (a veces denominada masa), el procesamiento de la masa para desnaturalizar las proteínas y orientar las fibras proteicas, y la fijación o ajuste de una estructura fibrosa. El procesamiento de la masa para desnaturalizar las proteínas y orientar las fibras proteicas puede comprender la aplicación de fuerza mecánica a la masa, por ejemplo, mediante agitación, batido, flujo de confluencia, aplicación de fricción, impacto, amasado, presurización, agitación, giro, aplicación de turbulencia, aplicación de ondas, o  
20 combinaciones de estas y/u otras aplicaciones de fuerza mecánica. El procesamiento de la masa para desnaturalizar las proteínas y orientar las fibras proteicas puede realizarse, de manera adicional o alternativa, mediante la aplicación de reactivos químicos, energía radiante, energía electromagnética y/o energía térmica. Los reactivos químicos pueden incluir agentes de ajuste del pH, agentes cosmotrópicos, agentes caotrópicos, yeso, sales, tensioactivos, emulsionantes, ácidos grasos, aminoácidos, enzimas o combinaciones de estos y/u otros componentes químicos. La  
25 fijación o ajuste de una estructura fibrosa puede comprender la aplicación de cambios de temperatura, cambios de presión, deshidratación, reacciones redox, fijación química y/u otras operaciones de fijación.

El sistema 200 incluye, además, un sistema de control de proceso electrónico (EPCS) 203 que es un ejemplo de un EPCS configurado para controlar una máquina de extrusión por vía húmeda utilizando una pluralidad de ajustes del  
30 proceso efectivos para obtener una mezcla de matriz de extrusión que es forzada a entrar, atravesar y es emitida desde la matriz de extrusión. Por ejemplo, el EPCS 203 está configurado para controlar la máquina de extrusión por vía húmeda 212 utilizando una pluralidad de ajustes de proceso 210 efectivos para obtener una mezcla de matriz de extrusión que es forzada hacia, atravesar y salir de la matriz de extrusión 220. Los ajustes de proceso 110 pueden incluir cantidades o tasas de introducción de los ingredientes 206, la velocidad de rotación de los uno o más tornillos  
35 216, los ajustes de temperatura en una o más ubicaciones a lo largo del recorrido de la trayectoria de procesamiento, los ajustes de presión en una o más ubicaciones a lo largo del recorrido de la trayectoria de procesamiento, y otros ajustes operativos de la máquina 212 de proceso de extrusión por vía húmeda.

El sistema EPCS está configurado, además, para controlar el equipo de post-procesamiento automatizado 224  
40 utilizando una pluralidad de ajustes de post-procesamiento 211. El equipo de post-procesamiento automatizado 224 está configurado para procesar aún más la mezcla que sale desde la matriz de extrusión 220 en la forma final de un producto sustituto cárnico 226, por ejemplo, técnicas de corte, de trituración, de rasgado, de desgarramiento, de enrollamiento u otras técnicas de post-procesamiento.

El sistema EPCS incluye, además, uno o más subsistemas de detección 225 que detectan y proporcionan parámetros de retroalimentación a un sistema de control de supervisión de inteligencia artificial (SMICS). Los parámetros de retroalimentación pueden incluir parámetros de sensores asociados con la máquina de extrusión por vía húmeda 212  
45 y/o el equipo de post-procesamiento automatizado 224. Los sensores pueden estar configurados para detectar y proporcionar parámetros de retroalimentación asociados con la operación de y/o el material que está siendo procesado por la máquina de extrusión por vía húmeda 212 y/o el equipo de post-procesamiento automatizado 224. En algunas formas de realización, los subsistemas de detección 225 pueden incluir uno o más de los subsistemas de detección y/o sensores descritos más adelante en relación con la Figura 3, una combinación de dos o más de los subsistemas de detección y/o sensores descritos más adelante en relación con la Figura 3 y, de manera adicional o alternativa,  
50 otras formas y tipos de subsistemas de detección y/o sensores.

El sistema 200 se basa en uno o más componentes de inteligencia artificial del sistema SMICS 204 para determinar, proporcionar y ajustar o modificar los ingredientes 206, los ajustes de proceso 210, el ajuste de post-procesamiento 211 utilizados por el sistema EPCS 203 con el fin de lograr las características deseadas del producto sustitutivo cárnico 226. Los ajustes de ingredientes 206 proporcionados por SMICS 204 a EPCS 203 pueden incluir especificaciones  
55 cuantitativas y cualitativas de ingredientes para una pluralidad de ingredientes, por ejemplo, una o más proteínas alternativas en polvo (por ejemplo, harinas vegetales, proteínas derivadas de la fermentación de microorganismos, y/o harinas a base de insectos), agua y aceite y, también, pueden incluir aditivos, rellenos, auxiliares de procesamiento, y similares.

Los ajustes de proceso 210 proporcionados por el SMICS 204 al EPCS 203 pueden incluir cantidades o tasas de introducción de los ingredientes 206, velocidad de rotación de los uno o más tornillos 216, ajustes de temperatura,

presión, y/o humedad en una o más ubicaciones a lo largo del recorrido de la trayectoria de procesamiento, y otros ajustes operativos de la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212. Los ajustes de post-procesamiento 211 proporcionados por SMICS 204 a EPCS 203 pueden incluir fuerza, magnitud, frecuencia y otros parámetros de control asociados con técnicas de corte, de trituración, de rasgado, de desgarramiento, de enrollamiento u otras técnicas de post-procesamiento pueden ser realizadas por el equipo de post-procesamiento automatizado 224.

Un operador humano 202 puede proporcionar datos de entrada tales como ingredientes disponibles y datos de producto deseados al SMICS 204, aunque también se contempla que dichos datos de entrada puedan proporcionarse de forma automatizada o semiautomatizada. La entrada de datos del producto deseado puede incluir una serie de parámetros asociados con un producto intermedio o final deseado, incluyendo, por ejemplo, imágenes digitales de mezclas conocidas en o en la proximidad de la entrada de una matriz de extrusión comparable a la matriz de extrusión 220, en o en la proximidad de la salida de una matriz de extrusión comparable a la matriz de extrusión 220 o en una o más ubicaciones adicionales o alternativas relativas a dicha matriz de extrusión. La entrada de datos de productos deseados puede incluir manera adicional o alternativa una serie de parámetros físicos de fibrosidad determinados mediante el procesamiento de imágenes digitales de dichas mezclas conocidas, incluyendo, por ejemplo, parámetros físicos de fibrosidad tales como una métrica de magnitud de fibra, una métrica de orientación de fibra, una métrica de alineación de fibra, una métrica de entrelazamiento de fibra, una métrica de distancia entre fibras, una métrica de fuerza de torsión, una métrica de densidad, una métrica de burbuja de fibra o combinaciones de las mismas.

Conviene señalar que los parámetros físicos de fibrosidad antes mencionados pueden definirse de diversas maneras. Por ejemplo, la métrica de magnitud de la fibra puede incluir uno o más de entre un diámetro medio de la fibra, una longitud media de la fibra, una distribución o varianza del diámetro de la fibra, una distribución o varianza de la longitud de la fibra, un cuartil, quintil, decil u otras métricas de margen de diámetro y/o longitud de la fibra o varias otras métricas de magnitud tal como se le ocurriría a un experto en esta técnica con el beneficio de la presente invención. La métrica de orientación de la fibra puede incluir, por ejemplo, un índice de uniformidad de la orientación que varía desde 0 (que indica un grupo de fibras con una orientación aleatoria o pseudoaleatoria con respecto a una referencia de orientación) a 1 (que indica un grupo de fibras con orientaciones que son prácticamente o completamente uniformes con respecto a la referencia de orientación). La métrica de alineación de fibras puede incluir, por ejemplo, un índice de uniformidad de orientación que varía desde 0 (indicando un grupo de fibras con alineaciones aleatorias o pseudoaleatorias entre sí) a 1 (indicando un grupo de fibras con alineaciones que son prácticamente o completamente uniformes entre sí). La métrica de entrelazamiento de fibras puede incluir, por ejemplo, varios cruces de fibras por área unitaria de una imagen digital. La métrica de distancia entre fibras puede incluir una distancia media entre fibras adyacentes. La métrica de densidad puede calcularse o derivarse utilizando una o más de las métricas anteriores, por ejemplo, utilizando una relación entre la distancia de fibra y la distancia entre fibras, y uno o más coeficientes correspondientes a una métrica de magnitud de fibra, una métrica de orientación de fibra, una métrica de alineación de fibra, una métrica de entrelazamiento de fibra, y/o una métrica de burbuja de fibra. Conviene señalar, además, que los promedios mencionados pueden incluir promedios de medias, promedios de medianas, promedios de modos, promedios ponderados o variaciones de los mismos. Una métrica de burbuja de fibra puede indicar la presencia, el grado y las características de la formación de burbujas de aire o gas dentro de las fibras o en la matriz interfibra, por ejemplo, un recuento de burbujas por área unitaria o volumen unitario, y la magnitud media de las burbujas (por ejemplo, diámetro, radio, volumen, etc.), y/o una frecuencia de burbujas. Conviene señalar que para algunos propósitos, la métrica de burbuja de fibra puede considerarse una forma de o puede correlacionarse con una métrica de densidad de fibra.

En general, el sistema SMICS 204 está estructurado para realizar algunas operaciones y para recibir e interpretar señales de cualquier componente y/o sensor del sistema 200 con el que esté en comunicación operativa, ya sea directa o indirectamente. Conviene señalar que el SMICS 204 puede proporcionarse en una diversidad de formas y configuraciones que incluyen uno o más dispositivos informáticos que forman un todo o una parte de un subsistema de procesamiento que tiene memoria no transitoria que almacena instrucciones ejecutables por ordenador, procesamiento y hardware de comunicación. El SMICS 204 puede ser un dispositivo único o un dispositivo distribuido, y las funciones del SMICS 204 pueden ser realizadas por hardware o software. El SMICS 204 está en comunicación con cualesquiera accionadores, sensores, enlaces de datos, dispositivos informáticos, conexiones inalámbricas u otros dispositivos para poder realizar cualesquiera operaciones descritas. El SMICS 204 puede incluir uno o más dispositivos de memoria no transitoria configurados para almacenar instrucciones en memoria que son legibles y ejecutables por el SMICS 204 para controlar el funcionamiento del sistema 200 tal como se describe en el presente documento.

Algunas operaciones aquí descritas incluyen operaciones para determinar uno o más parámetros descritos. El SMICS 204 puede estar configurado para determinar y puede realizar actos de determinación de diversas maneras, por ejemplo, calculando o computando un valor, utilizando técnicas estadísticas, obteniendo un valor desde una tabla de búsqueda o utilizando una operación de búsqueda, recibiendo valores desde un enlace de datos o comunicación de red, recibiendo una señal electrónica indicativa del valor, recibiendo un parámetro indicativo del valor, efectuando la lectura del valor desde una ubicación de memoria en un medio legible por ordenador, recibiendo el valor como un parámetro en tiempo de ejecución, y/o recibiendo un valor mediante el cual se puede calcular el parámetro interpretado, y/o haciendo referencia a un valor predeterminado que se interpreta como el valor del parámetro.

El SMICS 204 incluye uno o más componentes de inteligencia artificial 205 que pueden estar configurados para realizar una serie de técnicas de inteligencia artificial para ajustar o modificar de manera automática los ingredientes 206,

ajustes de proceso 210, ajustes de post-procesamiento 211 utilizados por el EPCS 203 en respuesta a la información de retroalimentación procedente de los uno o más subsistemas de detección 225. Por ejemplo, el componente de inteligencia artificial 205 puede configurarse para utilizar una técnica de aprendizaje de máquina tal como una o más de las técnicas descritas en el presente documento.

El SMICS 204 puede utilizar una técnica de aprendizaje profundo o de aprendizaje estructurado profundo en donde los uno o más componentes de inteligencia artificial 205 utilizan una red neuronal artificial (ANN) con múltiples capas entre la capa de entrada y la capa de salida. Por ejemplo, la red ANN puede configurarse con una ruta de asignación de créditos (CAP) multicapa que define la cadena de transformaciones de la red neuronal desde la capa de entrada hasta la capa de salida.

El SMICS 204 puede utilizar una técnica de aprendizaje supervisada o semi-supervisada en donde los uno o más componentes de inteligencia artificial 205 se proporcionan con entradas de ejemplo y sus salidas deseadas, y un objetivo definido de generar una o más reglas que asignan entradas a salidas. Las entradas a modo de ejemplo, las salidas deseadas y el objetivo definido pueden ser introducidos por un usuario y/o, al menos en parte, adquiridos por uno o más componentes de inteligencia artificial 205 durante la operación del sistema 200.

El SMICS 204 puede utilizar una técnica de aprendizaje de refuerzo en donde los uno o más componentes de inteligencia artificial 205 interactúan con un entorno de proceso dinámico a lo largo del tiempo en donde debe realizar un objetivo definido, por ejemplo, obtener o duplicar los datos de producto deseados introducidos en el SMICS 204. En dicha forma de realización, puesto que los uno o más componentes de inteligencia artificial 205 navegan de forma repetida en un espacio problemático, se proporciona con retroalimentación de subsistemas de detección y/o un operador o entrenador que es utilizado como un resultado deseado que uno o más componentes de inteligencia artificial 205 busca maximizar.

En otras formas de realización, el SMICS 204 puede utilizar de manera adicional o alternativa otras técnicas de aprendizaje automático, tal como el aprendizaje no supervisado, en donde no se proporcionan etiquetas a los uno o más componentes de inteligencia artificial 205, dejándoles solos para encontrar la estructura en su entrada. Otras formas de realización pueden utilizar otras técnicas de aprendizaje automático, tal como el modelado de temas, la reducción de la dimensionalidad o el meta-aprendizaje.

Tal como se describe en el presente documento, el SMICS 204 puede utilizar las técnicas de aprendizaje automático que anteceden en un modo de aprendizaje o entrenamiento en donde el SMICS 204 genere, mantenga y/o actualice uno o más modelos para establecer una correlación entre una o más de las entradas de retroalimentación de proceso dadas a conocer en el presente documento y uno o más de los parámetros o ajustes de control de proceso dados a conocer en el presente documento. El SMICS 204 puede, manera adicional o alternativa, utilizar las técnicas de aprendizaje automático que anteceden en un modo de control o supervisión para controlar las características estéticas de un producto sustitutivo cárnico obtenido. El SMICS 204 puede, manera adicional o alternativa, utilizar las técnicas de aprendizaje automático que anteceden en un modo de desarrollo de productos para identificar y caracterizar recetas para un producto sustitutivo cárnico, incluyendo parámetros de ingredientes y parámetros de configuración de ajuste del proceso.

Con referencia a la Figura 3, se ilustra un diagrama esquemático que representa algunos aspectos de un ejemplo de puesta en práctica 300 del sistema 200 que incluye algunos aspectos de los subsistemas de detección 225 y el SMICS 204. La puesta en práctica 300 incluye un subsistema de medición directa de fibrosidad (DFM) 312 y un subsistema de medición indirecta de fibrosidad (IFM) 314 que están acoplados de forma operativa con el SMICS 204. En la puesta en práctica 300, el componente de inteligencia artificial 205 del SMICS 204 está configurado para poner en práctica un proceso de aprendizaje de máquina (MLP) 305 que puede estar configurado para utilizar una o más de las técnicas de aprendizaje de máquina descritas con anterioridad en relación con la Figura 2. El subsistema DFM 312 y el subsistema IFM 314 están configurados, cada uno, para proporcionar una o más entradas al MLP 305. Conviene señalar que algunas formas de realización pueden incluir solamente uno de los subsistemas DFM 312 e IFM 314. Además, algunas formas de realización pueden incluir múltiples instancias de uno o ambos subsistemas DFM y un subsistema IFM que pueden configurarse para proporcionar una o más entradas al MLP 305.

El subsistema DFM 312 está configurado para medir directamente uno o más parámetros físicos de fibrosidad de la mezcla de la matriz de extrusión. Para ello, el subsistema DFM puede incluir uno o más de entre un sistema de sensor óptico o de otro margen del espectro electromagnético (sistema de sensor EM/óptico 320), un sistema de sensor de fuerza mecánica 330, y un sistema de sensor sónico 340. Conviene señalar que algunas formas de realización pueden incluir solamente uno de los sistemas de sensores que anteceden, mientras que algunas formas de realización pueden incluir dos o más de los sistemas de sensores que anteriores. Además, algunas formas de realización pueden incluir múltiples instancias de los uno o más sistemas de sensores anteriores.

El sistema sensor EM/óptico 320 incluye uno o más sensores ópticos o de otro espectro electromagnético (sensores EM/ópticos) 322 configurados para proporcionar imágenes digitales de la mezcla de la matriz de extrusión. Conviene señalar que el sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender varios tipos de sensores. En algunas formas, el sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos

constituyentes 322 pueden comprender cámaras u otros sensores ópticos adaptados al espectro de luz visible, espectro de luz ultravioleta, espectro de luz infrarroja, o combinaciones de los mismos. En algunas formas, el sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender o utilizar sistemas sensores de difusión de la luz y sensores adaptados para detectar la difusión direccional de la luz desde una superficie. Uno o más de los sensores EM/ópticos 332 también pueden utilizarse en combinación con filtros espectrales, filtros de polarización y otros tipos de filtros. Se contempla, además, el uso de uno o ambos sensores y sistemas ópticos incoherentes y sensores y sistemas coherentes (por ejemplo, sensores y sistemas láser). Se contempla el uso de imágenes monocromas o en color, por ejemplo, se pueden utilizar técnicas de imágenes en color en el extruido que sale de una matriz de extrusión en un punto flujo abajo de la matriz para inferir la estructura de la fibra a granel (orientación de la fibra, longitud de la fibra y otras características de la fibra, tales como patrones, métricas de burbujas de fibra y otras métricas de fibrosidad dadas a conocer en el presente documento).

El sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender o utilizar sistemas sensores o de formación de imágenes multispectrales o hiperespectrales, tales como sistemas y sensores de escaneo espacial, sistemas y sensores de escaneo espectral, sistemas y sensores de formación de imágenes instantáneas, sistemas y sensores de escaneo espacio-espectral y/u otros tipos de sistemas y sensores adaptados para muestrear múltiples espectros por área unitaria, tales como la detección de un cubo hiperespectral u otras construcciones espacio-espectrales multidimensionales. El sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender, manera adicional o alternativa, sistemas y sensores adaptados para operar en márgenes no ópticos del espectro electromagnético. En algunas formas, el sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender sistemas y sensores de tomografía electromagnética, sistemas y sensores de rayos X, sistemas y sensores de resonancia magnética nuclear, y/o tipos adicionales de sensores y sistemas EM/ópticos de espectro no óptico.

Conviene señalar, además, que las imágenes digitales de la mezcla de la matriz de extrusión proporcionadas por el sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 pueden comprender una serie de formas correspondientes a las diferentes formas del sistema sensor EM/óptico 320 y sus sensores EM/ópticos constituyentes 322 contemplados en el presente documento, incluyendo, por ejemplo, matrices o conjunto de imágenes digitales convencionales, datos espectrales y otras estructuras de datos.

En formas que incluyen uno o más sensores adaptados al espectro óptico, dichos sensores pueden comprender una matriz de dispositivos acoplados por carga (CCD), una matriz CMOS de semiconductores de óxido metálico complementarios y/u otros tipos de matrices, dispositivos y elementos de sensores ópticos. Los uno o más sensores EM/ópticos 332 pueden estar configurados con uno o más sistemas de lentes configurados para capturar imágenes macroscópicas, imágenes microscópicas, instancias de ambas, o combinaciones de las mismas. Tal como se ha descrito con anterioridad, los uno o más sensores EM/ópticos 322 pueden proporcionarse en formas configuradas para detectar luz en el espectro visible, espectro infrarrojo, y/o espectro ultravioleta. El sistema de sensor óptico 320 también incluye la electrónica de procesamiento de imágenes 324 que está configurada para procesar los datos sin tratar desde los uno o más sensores EM/ópticos 322 en la forma de imágenes digitales que se proporcionan al MLP 305 del SMICS 204.

Los uno o más sensores EM/ópticos 322 pueden ser posicionados y configurados para capturar imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de la matriz de extrusión 326. El margen de ubicación de la matriz de extrusión 326 puede estar ubicado en el margen que se extiende desde una ubicación en o próxima a la entrada de la matriz de extrusión 220 hasta una ubicación en o próxima a la salida de la matriz de extrusión 220. De manera adicional o alternativa, uno o más sensores EM/ópticos 322 pueden estar posicionados y configurados para capturar imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de post-procesamiento 338 que puede ser cualquier punto o ubicación accesible del equipo de post-procesamiento automatizado 224. En dichos casos, se pueden utilizar técnicas de sellado de tiempo y ajuste de tiempo, tal como las que se describen en el presente documento, para proporcionar una correlación ajustada en el tiempo de la ubicación de la medición con la ubicación de la matriz de extrusión, permitiendo que las mediciones en ubicaciones flujo abajo se correlacionen con las condiciones en el momento en que el material medido pasó a través de la matriz de extrusión 220.

Dependiendo de la(s) ubicación(es) del proceso en la(s) cual(es) las mediciones o lecturas de los uno o más sensores EM/ópticos 322, técnicas de estampado de tiempo y/o adaptación de tiempo pueden ser utilizadas para correlacionar temporalmente las mediciones o lecturas de los uno o más sensores EM/ópticos 322 con otras mediciones o lecturas de sensores u otros parámetros de proceso. Por ejemplo, cuando una o más mediciones o lecturas son tomadas por los sensores EM/ópticos 322 en una ubicación de post-procesamiento, tal como un punto o ubicación del equipo de post-procesamiento automatizado 224, pueden utilizarse técnicas de estampado y/o adaptación temporal para determinar un punto en el tiempo en donde el material sujeto a las mediciones o lecturas del sensor estaba en un punto o ubicación de proceso de producción anterior. Tal como se ha indicado con anterioridad, dichas técnicas pueden utilizarse, por ejemplo, para correlacionar una o más mediciones o lecturas tomadas por los sensores EM/ópticos 322 con otras mediciones de proceso, tal como la temperatura o la humedad en una ubicación de proceso diferente, tal como en la salida de la matriz de extrusión 220 o en la proximidad de la misma. Dichas técnicas de estampación de tiempo y/o adaptación de tiempo pueden dar cuenta de la variación en las tasas de proceso en el transcurso del tiempo. Las mismas o prácticamente similares técnicas de estampado de tiempo y alineación pueden, manera

adicional o alternativa, ser utilizadas en conexión con otros sistemas de sensores y sensores dados a conocer en este documento incluyendo, por ejemplo, el sistema de sensor de fuerza mecánica 330 que incluye uno o más sensores de fuerza mecánica 332 y/o el sistema de sensor sónico 340 que incluye uno o más sensores sónicos 342.

5 Algunas formas contemplan el uso de estimadores basados en ordenador, observadores, sensores virtuales, además, de los uno o más sensores físicos EM/ópticos 322. Dichos estimadores basados en ordenador, observadores, sensores virtuales pueden, de manera adicional o alternativa, ser utilizados en conexión con los otros sistemas de sensores y sensores dados a conocer en este documento incluyendo, por ejemplo, el sistema de sensor de fuerza mecánica 330 que incluye uno o más sensores de fuerza mecánica 332 y/o el sistema de sensor sónico 340 que  
10 incluye uno o más sensores sónicos 342.

El sistema sensor de fuerza mecánica 330 incluye uno o más sensores de fuerza mecánica 332 que pueden incluir galgas extensiométricas, transductores de fuerza, sensores piezoeléctricos, sensores piezoresistivos, sensores capacitivos, sensores elasto-resistivos, sensores de elastografía y/u otros tipos de elementos sensores configurados para detectar fuerza mecánica. Los uno o más sensores de fuerza mecánica 332 pueden estar configurados para medir una o más métricas de tracción (por ejemplo, resistencia a la tracción, comportamiento dinámico de resistencia a la tracción, fuerza de tracción u otra métrica de fuerza de tracción), métricas de compresión (por ejemplo, fuerza de mordida simulada a través de una disposición de sensores de emulación de dientes, fuerza táctil simulada mediante una disposición de sensores que emulan tejidos blandos, fuerza de compresión para uno o más criterios de desplazamiento o deformación, fuerza de compresión hasta el fallo, u otra métrica de fuerza de compresión), y/o una métrica correlacionada con la fuerza mecánica (por ejemplo, una métrica de densidad) de la mezcla de la matriz de extrusión. El uno o más sensores de fuerza mecánica 332 pueden comprender uno o más sistemas de sensores elastográficos o sensores configurados para excitar mecánicamente de forma activa un material bajo evaluación y evaluar dinámicamente una respuesta detectada.  
15  
20

Uno o más de los sensores de fuerza mecánica 332 pueden estar posicionados y configurados para entrar en contacto, de manera selectiva, con la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de la matriz de extrusión 336. El margen de ubicación de la matriz de extrusión 336 puede estar ubicado en el margen que se extiende desde una ubicación en o próxima a la entrada de la matriz de extrusión 220 hasta una ubicación en o próxima a la salida de la matriz de extrusión 220. De manera adicional o alternativa, uno o más elementos sensores del sensor de fuerza mecánica 332 pueden posicionarse y configurarse para entrar en contacto, de manera selectiva, con la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de post-procesamiento 338 que puede ser cualquier punto o ubicación accesible del equipo de post-procesamiento automatizado 224. Conviene señalar que, dependiendo de las particularidades de la máquina de extrusión y de la matriz de extrusión utilizados en una forma de realización dada, una ubicación próxima puede considerarse una ubicación dentro de 10 cm o menos, una ubicación dentro de 5 cm o menos, o una ubicación dentro de 1 cm o menos.  
25  
30  
35

El sistema de sensor sónico 340 incluye uno o más sensores sónicos 342 que pueden comprender componentes transmisores y receptores o transceptores de ultrasonidos tales como los utilizados en los sistemas de formación de imágenes por ultrasonidos. Los uno o más sensores sónicos 342 pueden estar configurados con una o más estructuras de guía de ondas acústicas para dirigir ondas sonoras a un objetivo de medición y recoger ondas sonoras reflejadas por un objetivo de medición. El sistema de sensor sónico 240 también incluye una electrónica de procesamiento de imágenes sónicas 324 que procesa los datos sin tratar recibidos desde los uno o más sensores sónicos 342 en la forma de imágenes digitales que se proporcionan al MLP 305 del SMICS 204.  
40  
45

Los uno o más sensores sónicos 342 pueden estar posicionados y configurados para dirigir el sonido y detectar el sonido reflejado desde la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de la matriz de extrusión 346. El margen de ubicación de la matriz de extrusión 346 puede estar ubicado en el margen que se extiende desde una ubicación en o próxima a la entrada de la matriz de extrusión 220 hasta una ubicación en o próxima a la salida de la matriz de extrusión 220. De manera adicional o alternativa, uno o más sensores sónicos 342 pueden estar posicionados y configurados para dirigir el sonido y detectar el sonido reflejado desde la mezcla de la matriz de extrusión en un margen de ubicación de post-procesamiento 338 que puede ser cualquier punto o ubicación accesible del equipo de post-procesamiento automatizado 224.  
50

El subsistema IFM 314 incluye uno o más sensores (por ejemplo, sensores S1, S2, ... Sn) configurados para medir uno o más parámetros del proceso de extrusión. Los parámetros del proceso de extrusión pueden incluir de manera preferible uno o más de entre una tasa de flujo de la mezcla de la matriz de extrusión, una presión de flujo de la mezcla de la matriz de extrusión, una temperatura de la mezcla de la matriz de extrusión, y un contenido de humedad o característica de la mezcla de la matriz de extrusión. Los parámetros del proceso de extrusión pueden incluir, manera adicional o alternativa, indicadores de orden superior de dichos parámetros del proceso de extrusión. Uno o más parámetros de funcionamiento del motor (por ejemplo, el par de torsión del motor, el consumo de energía, las corrientes del motor y los voltajes del motor) pueden correlacionarse con uno o más de los parámetros del proceso de extrusión anteriores, por ejemplo, la tasa de flujo o la presión de flujo de la mezcla de la matriz de extrusión. Las presiones y temperaturas en una o más ubicaciones de la extrusora, la carga de potencia térmica de los uno o más bucles de control de temperatura, la temperatura de la matriz de refrigeración, el caudal y/o el cambio de temperatura del fluido refrigerante en el intercambiador de calor de la matriz de refrigeración, pueden correlacionarse con uno o más de los  
55  
60  
65

parámetros del proceso de extrusión anteriores, por ejemplo, la temperatura de la mezcla de la matriz de extrusión. Las mediciones de la alimentación de la extrusora, incluyendo los caudales de agua y aceite, así como la tasa de alimentación de la materia prima seca, pueden correlacionarse con uno o más de los parámetros del proceso de extrusión anteriores, por ejemplo, el caudal de la mezcla de la matriz de extrusión o el contenido de humedad o la característica de la mezcla de la matriz de extrusión. Las mediciones del contenido en humedad de la materia prima seca y/o las mediciones de humedad de la mezcla a lo largo de la línea de procesamiento pueden correlacionarse con uno o más de los parámetros del proceso de extrusión anteriores, por ejemplo, el contenido de humedad o la característica de la mezcla de la matriz de extrusión. Las mediciones adicionales obtenidas en línea o fuera de línea relacionadas con las características del producto, tales como un análisis que indique el grado de desnaturalización y reticulación de la proteína o un análisis del comportamiento viscoelástico, también pueden correlacionarse con uno o más de los parámetros del proceso de extrusión anteriores.

Los uno o más sensores pueden estar posicionados y configurados para medir uno o más parámetros del proceso de extrusión en un margen de ubicación de la matriz de extrusión 356. El margen de ubicación de la matriz de extrusión 356 puede estar ubicado en el margen que se extiende desde una ubicación en o próxima a la entrada de la matriz de extrusión 220 hasta una ubicación en o próxima a la salida de la matriz de extrusión 220. De manera adicional o alternativa, uno o más sensores pueden estar posicionados y configurados para proporcionar lecturas de sensor desde cualquier punto o ubicación accesible del equipo de post-procesamiento automatizado 224. El subsistema IFM 314 también incluye una unidad de entrada/salida (E/S) y de procesamiento de señales 250 que acondiciona y procesa los datos sin tratar recibidos desde los uno o más sensores en una forma adecuada para su uso como entrada al MLP 305 del SMICS 204.

Conviene señalar que el SMICS 204 es un ejemplo de un sistema de control de inteligencia artificial de supervisión acoplado de manera operativa con al menos uno de entre un subsistema de medición de fibrosidad directa (DFM) configurado para medir directamente uno o más parámetros físicos de fibrosidad de la mezcla de matriz de extrusión, y un subsistema de medición de fibrosidad indirecta (IFM) configurado para medir uno o más parámetros de proceso asociados con la mezcla de matriz de extrusión, y que está configurado para modificar uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso en respuesta a al menos uno de los uno o más parámetros físicos de fibrosidad, y los uno o más parámetros de proceso, eficaces para modificar la mezcla de matriz de extrusión y el producto sustitutivo cárnico resultante 226 obtenido a partir de la misma.

En el ejemplo de puesta en práctica 300, el MLP 305 está configurado para determinar uno o más ajustes o modificaciones de los parámetros de proceso (PSA) 310 y/o uno o más ajustes o modificaciones de los ingredientes (IA) 306 en respuesta a al menos uno de los uno o más parámetros físicos de fibrosidad recibidos desde el subsistema DFM 312, y los uno o más parámetros de proceso de extrusión recibidos desde el subsistema IFM 314. Los PSA 310 y/o IA 306 son proporcionados y utilizados por el EPCS 203 al realizar operaciones de control y son efectivos para modificar las características físicas y estéticas de la mezcla de la matriz de extrusión y del producto sustitutivo cárnico resultante 226 obtenido a partir de lo mismo. Por ejemplo, PSA 310 y/o IA 306 pueden ser utilizados por el EPCS para ajustar o modificar los ingredientes 206, los ajustes de proceso 210, y/o los ajustes de post-procesamiento 211.

El MLP 305 es un ejemplo de un proceso puesto en práctica por un componente SMICS para recibir una entrada de datos de producto deseados desde un operador, recibir entrada de retroalimentación desde al menos uno de entre el subsistema DFM y el subsistema IFM, ejecutar un algoritmo o proceso de aprendizaje de máquina para identificar una o más relaciones de control entre uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso y la entrada de datos de producto deseados, y utilizar la una o más relaciones de control para modificar uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso.

Tal como se ha descrito con anterioridad, el MLP 305 recibe entradas de retroalimentación de uno o ambos subsistemas DFM 312 e IFM 314. Las entradas de retroalimentación recibidas desde el subsistema DFM 312 pueden incluir imágenes digitales de la mezcla de la matriz de extrusión. El MLP 305 puede utilizar y tratar las propias imágenes digitales como al menos uno de los parámetros físicos de fibrosidad. De manera adicional, o de manera alternativa, el MLP 305 u otro componente de procesamiento del SMICS puede estar configurado para procesar, además, las imágenes digitales para determinar uno o más de los parámetros físicos de fibrosidad a partir de las imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión. Dicho procesamiento posterior de las imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión, para determinar los parámetros físicos de fibrosidad, puede incluir el procesamiento para determinar uno o más de entre una métrica de magnitud de fibra, una métrica de orientación de fibra, una métrica de alineación de fibra, una métrica de entrelazamiento de fibra, una métrica de distancia entre fibras, una métrica de fuerza de torsión, una métrica de densidad (que puede calcularse o derivarse de una o más de entre las métricas anteriores), y una métrica que indique la presencia, el grado y las características de la formación de burbujas de aire o de gas dentro de las fibras o en la matriz interfibra, por ejemplo, un recuento de burbujas por área unitaria o volumen unitario, y la magnitud media de las burbujas (por ejemplo, diámetro, radio, volumen, etc.), y/o una frecuencia de burbujas. Dichas métricas pueden definirse, por ejemplo, de conformidad con los ejemplos descritos en relación con la Figura 2

El MLP 305 también puede recibir entradas de retroalimentación desde otros sensores de proceso (OPS) 399 que pueden ser, por ejemplo, sensores de humedad o de humedad de ingredientes, sensores de tasa de alimentación de ingredientes, sensores de tasa de flujo de proceso, sensores de presión de flujo de proceso, sensores de temperatura

de proceso, sensores de humedad o humedad de proceso, y otros tipos de sensores proporcionados para medir otros aspectos del proceso realizado por el sistema 200. El MLP 305 puede utilizar las entradas del subsistema DFM 312 y/o del subsistema IFM 314, así como las entradas del OPS 399 en su proceso de aprendizaje automático. En algunas formas de realización, las entradas del subsistema DFM 312 y/o del subsistema IFM 314 son, preferiblemente, priorizadas o ponderadas sobre otras entradas para guiar o restringir el proceso de aprendizaje automático realizado por el MLP 305. En algunas formas de realización preferidas, se cree que esto acelera de manera ventajosa y mejora la eficacia del proceso de aprendizaje de máquina realizado por MLP 305.

El MLP 305 puede utilizar una combinación de las entradas del subsistema DFM 312 y/o del subsistema IFM 314, así como una diversidad de entradas del OPS 399. Las entradas del OPS 399 pueden incluir parámetros de funcionamiento del motor (por ejemplo, par de torsión del motor, consumo de energía, corrientes del motor y tensiones del motor), mediciones de presión y temperatura de diferentes lugares de la extrusora, carga de potencia térmica de los bucles de control de temperatura, mediciones de temperatura de la matriz de refrigeración, caudal y cambio de temperatura del fluido refrigerante en el intercambiador de calor de la matriz de refrigeración, mediciones de la alimentación de la extrusora, incluyendo los caudales de agua y aceite, así como la tasa de alimentación de la materia prima seca y, cuando se disponga de ella, una indicación del contenido en humedad de la materia prima seca, mediciones de la humedad de la mezcla a lo largo de la línea de procesamiento, mediciones obtenidas en línea o fuera de línea relacionadas con las características del producto, tal como un análisis que indique el grado de desnaturalización y reticulación de las proteínas o un análisis del comportamiento viscoelástico, y/u otras entradas procedentes del OPS 399.

El MLP 305 se puede utilizar para generar, mantener y actualizar modelos de control u otros componentes de control para una serie de propósitos. En algunas formas de realización, los modelos de control u otros componentes de control asociados con el MLP 305 pueden detectar desviaciones y anomalías en el estado operativo del proceso a partir de un estado operativo nominal, establecer una causa raíz para las desviaciones y anomalías detectadas, proporcionar acciones de control para devolver el proceso al estado operativo nominal (ya sea ejecutando directamente o sugiriendo a un operador, determinar un nuevo estado operativo, que sea más deseable que el estado operativo actual basándose en criterios que incluyan, pero no se limiten a, una mayor tasa de producción, una mejor calidad del producto, una mayor estabilidad operativa, y proporcionar acciones de control para realizar la transición desde el estado operativo de un estado a otro mientras se satisfacen condiciones que incluyen, por ejemplo, un tiempo mínimo para la transición o una cantidad mínima de producto fuera de especificación.

En algunas formas de realización, los modelos de control u otros componentes de control asociados con el MLP 305 pueden utilizar modelos matemáticos que relacionan el grado de desnaturalización de la proteína y la cocción/reticulación con el tiempo de permanencia de la mezcla procesada y la entrada de energía térmica a la extrusora, así como los niveles de temperatura estimados dentro de la extrusora, utilizar modelos matemáticos que relacionan el par de torsión del motor y el consumo de energía del motor compensado por la tasa de alimentación con la viscosidad de la mezcla procesada. En determinadas formas de realización, los modelos de control u otros componentes de control asociados con el MLP 305 pueden utilizar modelos matemáticos que relacionen el grado de orientación de las fibras, la longitud de las fibras o las propiedades del producto a granel, tal como la presencia de burbujas o zonas fundidas, con la velocidad de desnaturalización de las proteínas y un perfil de temperatura estimado en la matriz determinado en función de la tasa de enfriamiento y de la temperatura de la mezcla procesada en la entrada de la matriz compensada por el caudal de la mezcla procesada. En algunas formas de realización, los modelos de control u otros componentes de control asociados con MLP 305 pueden utilizar un modelo matemático combinado que incluya uno o más de los modelos matemáticos mencionados con anterioridad y uno o más modelos adicionales.

Con referencia a la Figura 4, se ilustra un diagrama esquemático que representa algunos aspectos de un ejemplo de puesta en práctica 400 de los subsistemas de detección 225 en relación con una pluralidad de operaciones de proceso del sistema 200. Las operaciones de proceso ilustradas del sistema 200 incluyen operaciones de proceso  $P_1$  a  $P_n$ , inclusive, que son ejemplos de operaciones de proceso realizadas con una máquina de proceso de extrusión (por ejemplo, la máquina de proceso de extrusión 212). La operación de proceso  $P_1$  implica una adición de ingrediente  $I_1$  (por ejemplo, una adición de los uno o más de los ingredientes 206) y es controlada por una o más entradas de control de proceso  $C_1$  que se determinan utilizando uno o más ajustes de proceso (por ejemplo, uno o más de los ajustes de proceso 210). La operación de proceso  $P_1$  se controla mediante uno o más sensores  $S_{1a} \dots S_{1n}$  que son ejemplos de sensores de proceso configurados para proporcionar otras entradas de proceso (por ejemplo, entradas OPS 399). Los uno o más sensores  $S_{1a} \dots S_{1n}$  pueden configurarse para proporcionar salidas de sensor continuas o salidas de sensor discretas. De forma similar, las entradas de control de proceso  $C_1$  pueden determinarse y proporcionarse como entradas de control continuas o como entradas de control discretas.

La operación de proceso  $P_n$  implica una adición de ingrediente  $I_n$  (por ejemplo, una adición de uno o más de los ingredientes 206) y es controlada por una o más entradas de control de proceso  $C_n$  que pueden determinarse utilizando uno o más ajustes de proceso (por ejemplo, una adición de uno o más de los ajustes de proceso 210). La operación del proceso  $P_n$  se controla mediante uno o más sensores  $S_{na} \dots S_{nn}$  que son ejemplos de sensores de proceso configurados para proporcionar otras entradas de proceso (por ejemplo, entradas OPS 399). Tal como se indica mediante la notación "n", la puesta en práctica 400 puede incluir, además, una pluralidad de operaciones de proceso adicionales que no se ilustran en la Figura 4. Los uno o más sensores  $S_{na} \dots S_{nn}$  pueden configurarse para proporcionar

salidas de sensor continuas o salidas de sensor discretas. De forma similar, las entradas de control de proceso  $C_n$  pueden determinarse y proporcionarse como entradas de control continuas o como entradas de control discretas.

Las operaciones de proceso ilustradas del sistema 200 incluyen operaciones de post-procesamiento  $P_{pp}$  que son ejemplos de operaciones de proceso realizadas con un equipo de post-procesamiento automatizado (por ejemplo, equipo de post-procesamiento automatizado 224). Las operaciones de post-procesamiento  $P_{pp}$  son controladas por una o más entradas de control de post-procesamiento  $C_{pp}$  que se determinan utilizando uno o más ajustes de post-procesamiento (por ejemplo, uno o más de los ajustes de post-procesamiento 211). La operación de post-procesamiento  $P_{pp}$  es supervisada por uno o más sensores  $S_{ppa} \dots S_{ppn}$  que son ejemplos de sensores de proceso configurados para proporcionar otras entradas de proceso (por ejemplo, entradas OPS 399). Los uno o más sensores  $S_{ppa} \dots S_{ppn}$  pueden configurarse para proporcionar salidas de sensor continuas o salidas de sensor discretas. Del mismo modo, las una o más entradas de control de post-procesamiento  $C_{pp}$  pueden determinarse y proporcionarse como entradas de control continuas o como entradas de control discretas.

La puesta en práctica 400 incluye uno o ambos de entre un subsistema de medición de fibrosidad directa (DFM) y un subsistema de medición de fibrosidad indirecta (IFM) (por ejemplo, DFM 312 y/o IFM 314) pudiendo cada uno, o ambos, estar configurados para medir una o más operaciones de proceso asociadas con la matriz de extrusión 220 u operaciones de post-procesamiento  $P_{pp}$ . Los subsistemas DFM y/o IFM incluyen los atributos y características y pueden configurarse y ponerse en práctica de conformidad con el DFM 312 y/o IFM 314, respectivamente. Conviene señalar que la puesta en práctica 400 es un ejemplo de una puesta en práctica configurada para proporcionar entradas desde un DFM y/o un IFM así como entradas desde otros sensores de proceso a un componente de aprendizaje de máquina de un sistema de control de inteligencia artificial de supervisión (por ejemplo, MLP 305 de SMICS 204).

Conviene señalar que el sistema 200, la puesta en práctica 300, y/o la puesta en práctica 400 pueden utilizarse para realizar varios métodos de conformidad con la presente invención. Un método de ejemplo comprende hacer funcionar el sistema 200 (de conformidad con la puesta en práctica 300, la puesta en práctica 400, y/u otras puestas en práctica) para obtener un producto sustitutivo cárnico (por ejemplo, el producto sustitutivo cárnico 226). Un método de ejemplo comprende hacer funcionar el sistema 200 (de conformidad con la puesta en práctica 300, la puesta en práctica 400, y/u otras puestas en práctica) para determinar una receta de producto sustitutivo cárnico. Un método a modo de ejemplo comprende hacer funcionar el sistema 200 (de conformidad con la puesta en práctica 300, la puesta en práctica 400, y/u otras puestas en práctica) para controlar u optimizar las características estéticas y físicas de un producto sustitutivo cárnico.

Con referencia a la Figura 5, se ilustra un diagrama esquemático que representa algunos aspectos de una puesta en práctica a modo de ejemplo de un sistema de control 500 que puede ponerse en práctica o utilizarse en relación con el sistema de la Figura 2 u otro sistema a modo de ejemplo para obtener sustitutos cárnicos alternativos basados en proteínas. El sistema de control 500 incluye controles en línea 510 y un sistema controlado 530. Los controles en línea 510 incluyen un controlador de características del producto 512 y un controlador de fusión 514. Los controles en línea 510 pueden comprender algunos o la totalidad de los componentes del EPCS 203 u otro sistema de control de proceso electrónico, y pueden comprender, de manera adicional o alternativa, algunos o la totalidad de los componentes del SMICS 204 u otro sistema de control de inteligencia artificial de supervisión. El sistema controlado 530 incluye un preprocesamiento de material, una extrusora y componentes de refrigeración de la matriz de extrusión 532 (a veces denominados como componentes 532), que pueden comprender algunos o la totalidad de los componentes controlables de la máquina de proceso de extrusión por vía húmeda 212 u otra máquina de proceso de extrusión por vía húmeda, y componentes de post-procesamiento 534, que pueden comprender algunos o la totalidad de los componentes del equipo de post-procesamiento automatizado 224 u otro equipo de post-procesamiento.

El sistema de control 500 está configurado en una forma jerárquica, multicapa, de bucle cerrado, que comprende un bucle de retroalimentación interna que incluye el controlador de fusión 514 y los componentes 532, y un bucle de retroalimentación externa que incluye el controlador de características del producto 512 y los componentes de post-procesamiento 534. En el bucle de retroalimentación interna, el controlador de fusión 512 proporciona salidas de control de proceso 523 a los componentes 532 y retroalimentaciones de medición de proceso 522 son proporcionadas desde los componentes 532 al controlador de fusión 512. En el bucle de retroalimentación externo, el controlador de características del producto 512 proporciona referencias de características de fusión 513 al controlador de fusión 512 y proporciona referencias de post-procesamiento 515 a los componentes de post-procesamiento 534. El controlador de características del producto 512 también recibe referencias de características del producto 502 que pueden comprender DPFI 302 u otras referencias de características del producto. El controlador de características del producto 512 también recibe mediciones de características del producto pertenecientes a mediciones o características detectadas del extruido 533 que atraviesa los componentes 532 (siendo posibles dichas mediciones o características detectadas en un margen que se extiende desde antes de que un extruido entre en una matriz de extrusión hasta después de que el extruido salga de la matriz de extrusión), el producto post-procesado en uno o más puntos o ubicaciones en los componentes de post-procesamiento 534, y/o el producto sustituto cárnico final 226.

El controlador de fusión 514 está preferiblemente configurado y es utilizable para regular las características reológicas de una masa fundida del proceso de extrusión, tales como la viscosidad y la tensión elástica. El control de dichas características de la masa fundida puede ser útil para proporcionar un funcionamiento sin perturbaciones de la

extrusora, así como la calidad y características del producto final. Dichas características de fusión pueden ser sensibles e influenciadas por una serie de posibles perturbaciones y variaciones en el sistema, tales como la variación de las características del polvo de proteína de entrada, que surge de variaciones inevitables y a menudo desconocidas en el producto de origen natural, o diferentes condiciones ambientales de preparación y de almacenamiento del material. Por lo tanto, el controlador de fusión 514 está configurado para evitar situaciones tales como la obstrucción de la extrusora, la consistencia física deficiente del extruido o la generación deficiente de fibras.

El controlador de fusión 514 puede utilizar estimaciones de las características de la masa fundida obtenidas a partir de mediciones del sistema, tales como mediciones proporcionadas por uno o más de los subsistemas de detección 225 u otros sistemas o componentes de detección. En algunas formas, dichas mediciones pueden ser recogidas exclusiva o predominantemente en uno o más pasos de preprocesamiento, en la extrusora, y al inicio de una matriz de extrusión en lugar de la extrusión posterior a la matriz. Esta técnica puede ser preferible en las formas de realización en las que una matriz de extrusión comprende un elemento en gran medida pasivo (solamente la tasa de enfriamiento global es controlable o regulable) que puede introducir un retardo significativo en el transporte. Las salidas de control del proceso 523 pueden comprender órdenes, variables u otros parámetros de control para los accionadores del sistema de extrusión, tal como la velocidad de los tornillos de la extrusora, el flujo de entrada y los puntos de ajuste de temperatura de las zonas de extrusión. En algunas formas, también se contempla el control dinámico de la apertura de una matriz de extrusión.

Se contempla, además, que un problema de control multivariable y una metodología de solución pueden determinarse basándose en modelos de sistemas dinámicos de los cuales pueden ser identificados por un componente o modelo de aprendizaje automático y relaciones funcionales entre mediciones de proceso y características de fundido que pueden ser identificadas por un componente o modelo de aprendizaje automático. Dichos problemas de control multivariable y metodologías de solución pueden adoptar diversas formas. Por ejemplo, si el sistema está débilmente acoplado, podría utilizarse un control clásico de entrada única y salida única con un mecanismo de compensación adecuado. Si las variables del sistema están fuertemente acopladas, pueden utilizarse metodologías tales como el regulador cuadrático lineal o el control predictivo de modelos.

A continuación se describirán otros posibles detalles.

Uno o más componentes de al menos uno de entre los EPCS y los SMICS, pueden comprender un componente de un sistema de control jerárquico, multicapa y de bucle cerrado.

El sistema de control jerárquico, multicapa, de bucle cerrado puede incluir un bucle de retroalimentación interno que incluye un controlador de fusión y un bucle de retroalimentación externo que incluye un controlador de características del producto.

En el bucle de retroalimentación interna, el controlador de fusión puede proporcionar salidas de control de proceso a uno o más componentes del sistema de extrusión y puede recibir retroalimentaciones de medición de proceso desde los uno o más sistemas de detección asociados con el sistema de extrusión.

En el bucle de retroalimentación externo, el controlador de características del producto puede proporcionar referencias de características de fusión al controlador de fusión, y puede proporcionar referencias de post-procesamiento a uno o más componentes del sistema de post-procesamiento.

El SMICS puede recibir entradas tanto del subsistema DFM como del subsistema IFM y puede utilizar estas entradas en un proceso de aprendizaje automático que, en algunas formas, puede comprender uno o más de entre un algoritmo de aprendizaje profundo, un algoritmo de aprendizaje supervisado y un algoritmo de aprendizaje de refuerzo.

Aunque se han ilustrado y descrito en detalle formas de realización a modo de ejemplo de la invención en los dibujos y en la descripción que antecede, las mismas deben considerarse de carácter ilustrativo y no restrictivo, por lo que conviene señalar que solamente se han mostrado y descrito determinadas formas de realización a modo de ejemplo. Conviene señalar, asimismo, que aunque el uso de términos tales como preferible, preferiblemente, preferido o más preferido utilizadas en la descripción que antecede indica que la característica así descrita puede ser más deseable, sin embargo, puede no ser necesaria y las formas de realización que carecen de la misma pueden contemplarse dentro del alcance de la invención, estando definido el alcance por las reivindicaciones siguientes. Al proceder a la lectura de las reivindicaciones, se entiende que cuando se utilizan términos tales como "un", "una", "al menos uno" o "al menos una parte" no existe intención de limitar la reivindicación a solamente un elemento, a no ser que se indique específicamente lo contrario en la reivindicación. Cuando se utiliza la expresión "al menos una parte" y/o "una parte", el elemento puede incluir una parte y/o la totalidad del elemento, salvo que se indique específicamente lo contrario.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (200) que comprende:
  - 5 una máquina de proceso de extrusión por vía húmeda (212) configurada para recibir, mezclar y transportar una pluralidad de ingredientes a una matriz de extrusión (220), incluyendo la pluralidad de ingredientes un polvo de proteína, un aceite y agua; y
  - un sistema electrónico de control de proceso (EPCS) (203) configurado para controlar la máquina de extrusión por vía húmeda utilizando una pluralidad de ajustes de proceso efectivos para obtener una mezcla de matriz de extrusión que es forzada a entrar, atravesar y salir de la matriz de extrusión;
  - 10 caracterizado porque el sistema comprende un sistema de control de supervisión de inteligencia artificial (SMICS) (204) acoplado de manera operativa con al menos uno de entre un subsistema de medición directa de la fibrosidad (DFM) configurado para medir directamente uno o más parámetros físicos de fibrosidad de la mezcla de la matriz de extrusión, y un subsistema de medición indirecta de la fibrosidad (IFM) configurado para medir uno o más parámetros del proceso de extrusión asociados con la mezcla de la matriz de extrusión;
  - 15 en donde el sistema SMICS está configurado para modificar uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso en respuesta a al menos uno de los uno o más parámetros físicos de fibrosidad, y los uno o más parámetros de proceso de extrusión.
2. El sistema según la reivindicación 1, en donde el subsistema DFM comprende los uno o más de entre un sistema de sensor óptico, un sistema de sensor de fuerza mecánica, y un sistema de sensor sónico.
3. El sistema según la reivindicación 2, en donde el subsistema DFM comprende al menos el sistema de sensor óptico, y el sistema de sensor óptico está configurado para generar imágenes digitales de la mezcla de la matriz de extrusión y proporcionar las imágenes digitales al SMICS.
- 25 4. El sistema según la reivindicación 2, en donde el subsistema DFM comprende al menos el sistema de sensor sónico, y el sistema de sensor sónico está configurado para generar imágenes digitales de la mezcla de la matriz de extrusión y proporcionar las imágenes digitales al SMICS.
- 30 5. El sistema según la reivindicación 3 o según la reivindicación 4, en donde el SMICS está configurado para procesar, además, las imágenes digitales para determinar los parámetros físicos de fibrosidad a partir de las imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión.
- 35 6. El sistema según la reivindicación 5, en donde los parámetros físicos de fibrosidad comprenden una o más de entre una métrica de magnitud de fibra, una métrica de orientación de fibra, una métrica de alineación de fibra, una métrica de entrelazamiento de fibra, una métrica de distancia entre fibras, una métrica de fuerza de torsión y una densidad, determinados a partir del procesamiento de las imágenes de la mezcla de la matriz de extrusión.
- 40 7. El sistema según la reivindicación 3 o según la reivindicación 4, en donde el SMICS está configurado para utilizar las imágenes digitales como al menos uno de los parámetros físicos de fibrosidad.
8. El sistema según la reivindicación 2, en donde el subsistema DFM comprende al menos el sistema de sensor de fuerza mecánica, en donde el sistema de sensor de fuerza mecánica está configurado para medir una o más de entre una métrica de fuerza de tracción, una métrica de fuerza de compresión, una métrica de fuerza de torsión y una métrica de densidad de la mezcla de la matriz de extrusión.
- 45 9. El sistema según la reivindicación 2, en donde el subsistema DFM comprende dos o más de entre el sistema de sensor óptico, el sistema de sensor de fuerza mecánica y el sistema de sensor sónico.
- 50 10. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde el subsistema IFM incluye uno o más sensores configurados para medir los uno o más parámetros del proceso de extrusión.
11. El sistema según la reivindicación 10, en donde los uno o más parámetros del proceso de extrusión comprenden uno o más de entre un caudal de la mezcla de la matriz de extrusión, una presión de flujo de la mezcla de la matriz de extrusión, una temperatura de la mezcla de la matriz de extrusión y un contenido de humedad o una característica de la mezcla de la matriz de extrusión.
- 55 12. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde el SMICS está configurado para realizar un proceso de aprendizaje automático que incluye:
  - 60 recibir una entrada de datos de producto deseados desde un operador,
  - recibir una entrada de retroalimentación desde al menos uno de entre el subsistema DFM y el subsistema IFM,
  - ejecutar un algoritmo de aprendizaje automático para identificar una o más relaciones de control entre uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso y la entrada de datos de producto deseados, y
  - 65 utilizar la una o más relaciones de control para modificar uno o más de entre la pluralidad de ajustes de proceso.
13. El sistema según la reivindicación 12, en donde el algoritmo de aprendizaje automático comprende al menos uno

de entre un algoritmo de aprendizaje profundo, un algoritmo de aprendizaje supervisado y un algoritmo de aprendizaje de refuerzo.

- 5 14. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en donde la máquina de extrusión por vía húmeda comprende:
- al menos un tornillo motorizado dispuesto rotatoriamente en un paso de extrusión que se extiende a lo largo de una longitud;
  - un alimentador de polvo configurado para introducir el polvo de proteína en el paso de extrusión;
  - 10 un alimentador de agua configurado para añadir el agua al paso de extrusión;
  - un alimentador de aceite configurado para añadir el aceite al paso de extrusión; y
  - un sistema de calentamiento acoplado a la extrusora de tornillo y configurado para calentar, de manera selectiva, uno o más lugares a lo largo del recorrido del paso de extrusión.
- 15 15. Un método que comprende hacer funcionar el sistema según cualesquiera de las reivindicaciones 1-14, incluyendo el método al menos uno de entre obtener un producto sustituto cárnico, determinar una receta de producto sustituto cárnico, y controlar las características estéticas y físicas de un producto sustituto cárnico.

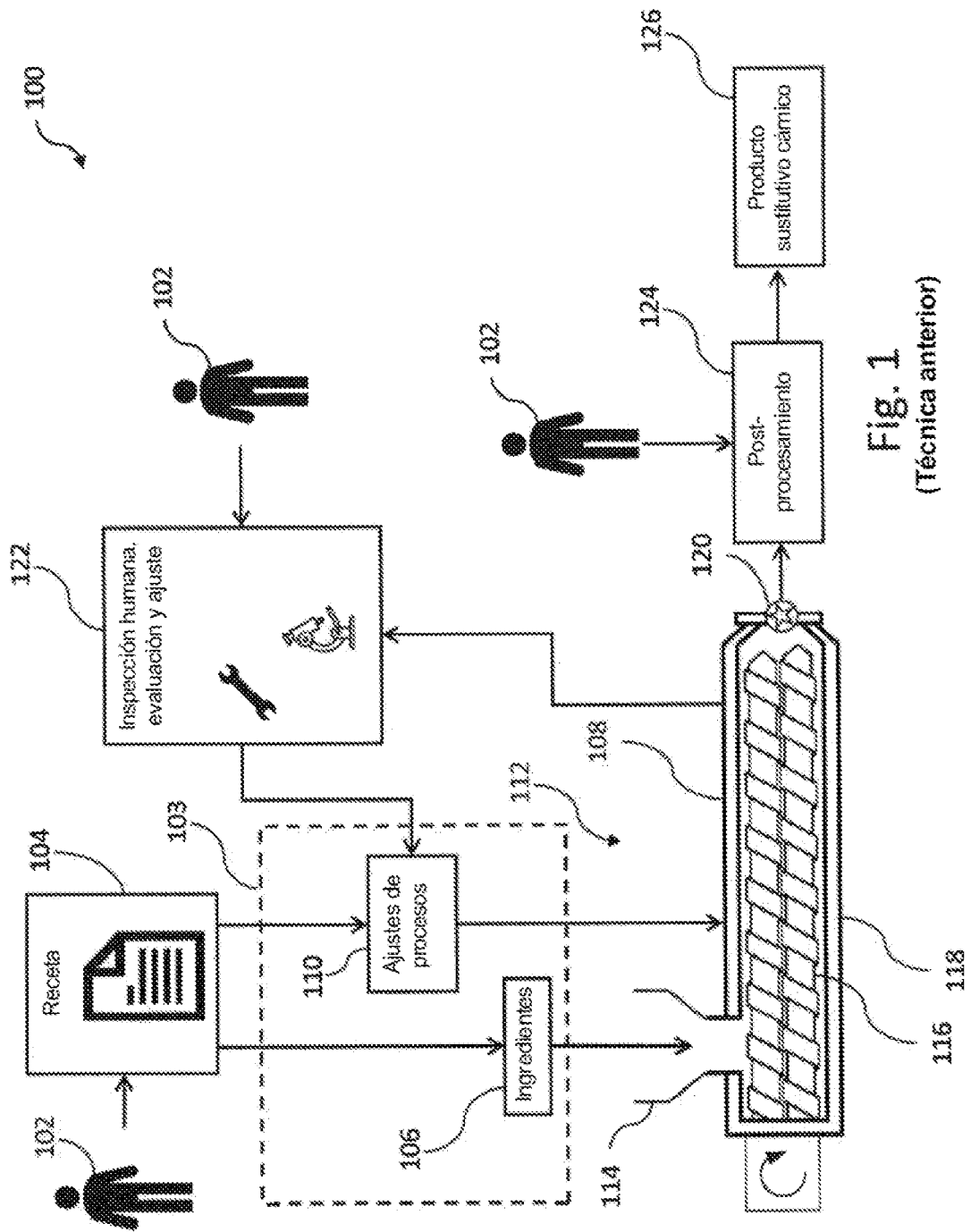


Fig. 1  
(Técnica anterior)

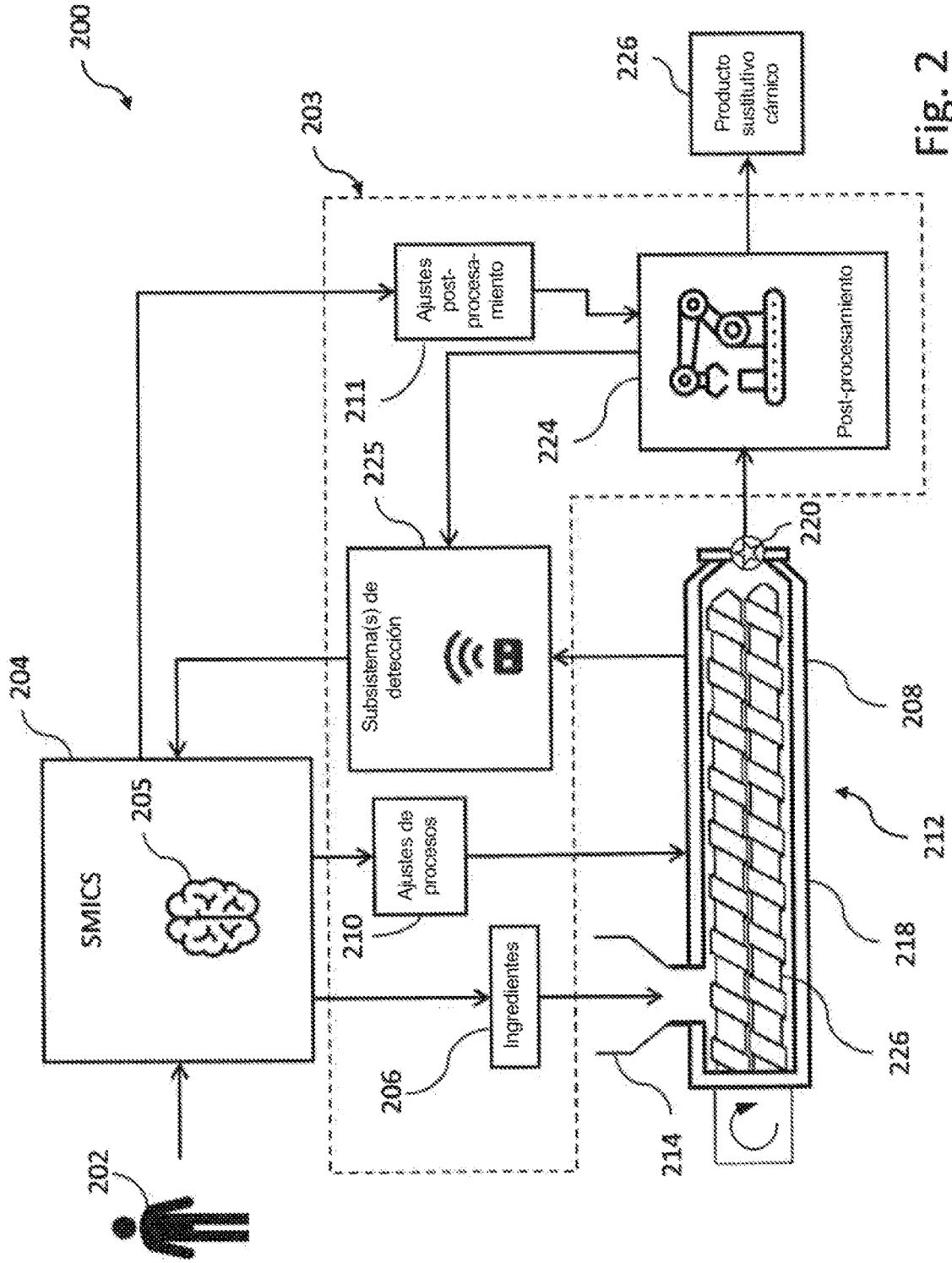


Fig. 2

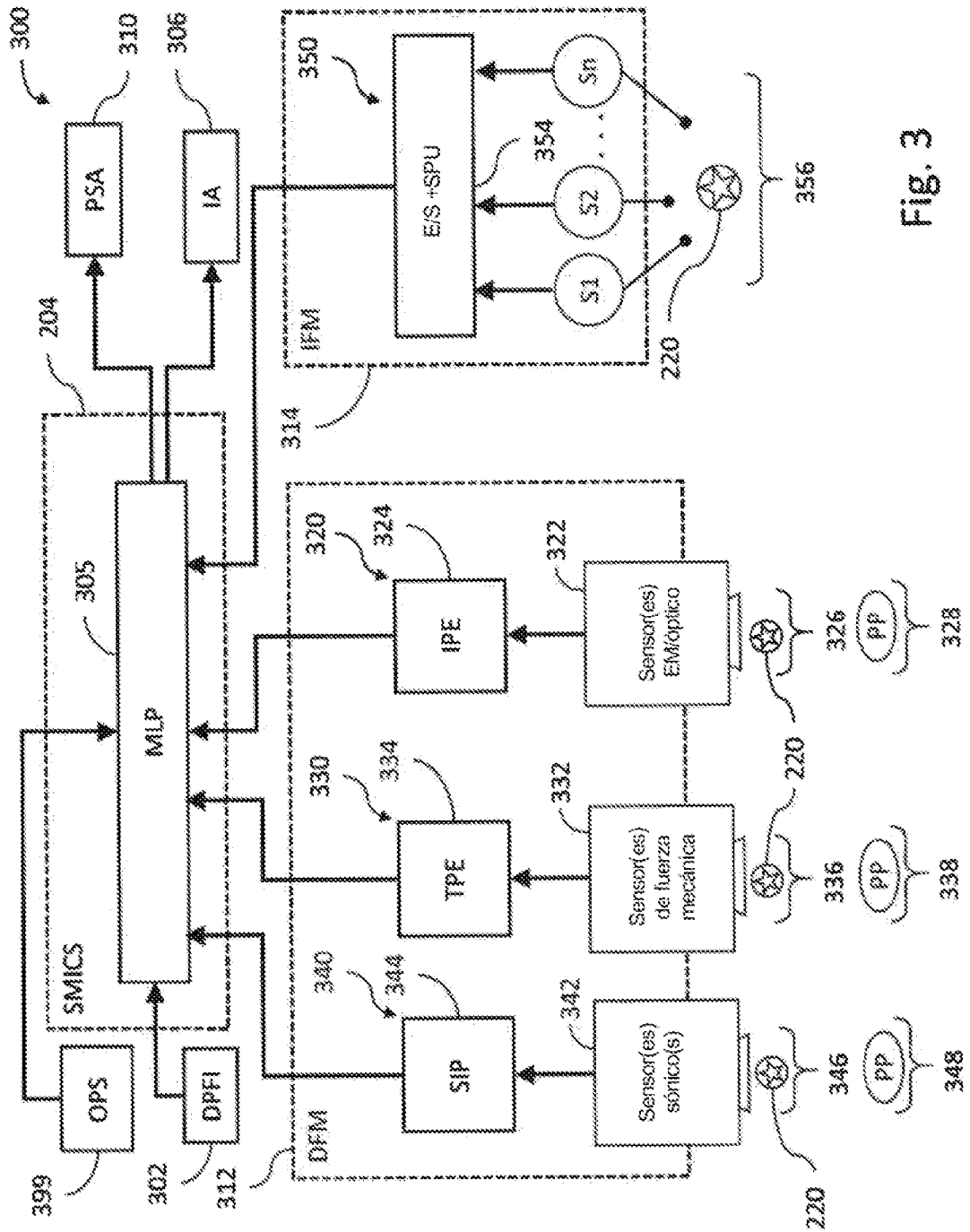


Fig. 3

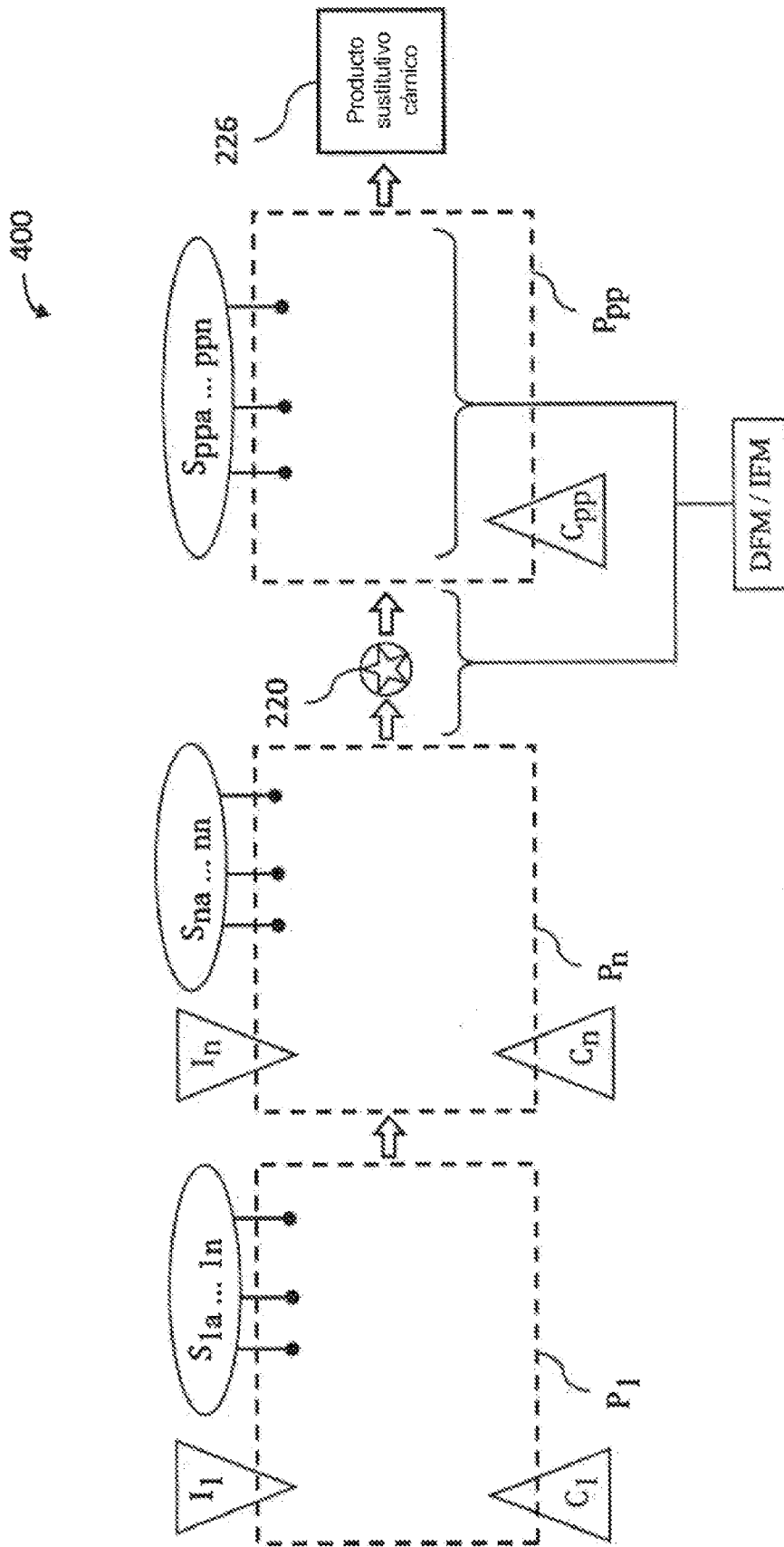


Fig. 4

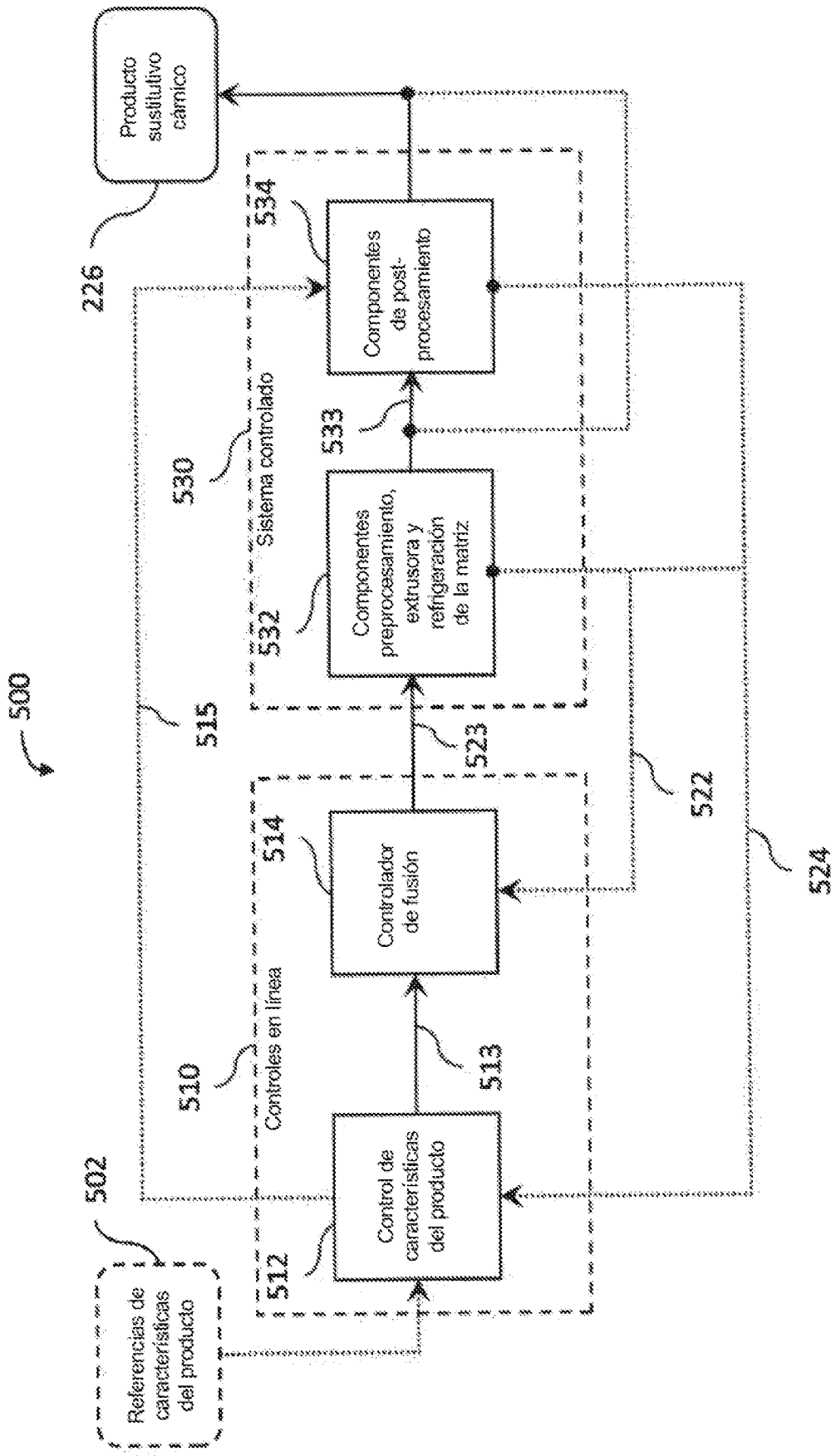


Fig. 5