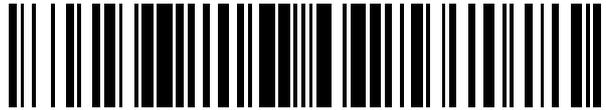


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 877 924**

21 Número de solicitud: 202030656

51 Int. Cl.:

G06Q 10/04 (2013.01)

G06Q 10/08 (2014.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

30.06.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.11.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.11.2023

Fecha de concesión:

07.06.2024

45 Fecha de publicación de la concesión:

14.06.2024

73 Titular/es:

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE ARAGON
(ITAINNOVA) (100.0%)
Calle María de Luna 7
50018 Zaragoza (Zaragoza) ES**

72 Inventor/es:

**CIPRES, David;
CAPELLA, Alberto;
GARCÍA, Miriam y
ARIAS, Juan Manuel**

74 Agente/Representante:

BALLESTER CAÑIZARES, Rosalia

54 Título: **Simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF)**

57 Resumen:

La simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF) incluye la generación de un gemelo digital de un modelo digital de una cadena de suministro de acuerdo con un marco de IF, que define una ruta de transporte para las mercancías en el modelo digital de la cadena de suministro y registra un coste para el transporte de las mercancías a lo largo de la ruta de transporte definida. Después, se simula el transporte de las mercancías en el gemelo digital a lo largo de una ruta determinada dinámicamente de acuerdo con el marco de IF y se calculan en tiempo real los costes y los indicadores clave de rendimiento (KPI) asociados al transporte de las mercancías de acuerdo con la ruta determinada. Por último, se ofrece una comparación en un visualizador de los costes y los KPI del transporte de las mercancías de acuerdo con el modelo digital de la cadena de suministro, con los costes y los KPI calculados del transporte de las mercancías de acuerdo con la ruta determinada del gemelo digital.

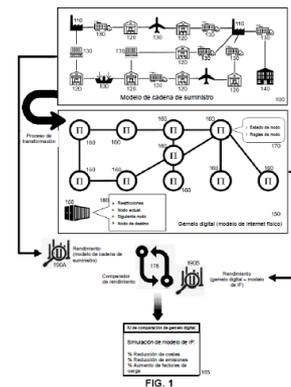


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 877 924 B2

DESCRIPCIÓN

Simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF)
ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001] Campo de la invención

- 5 **[0002]** La presente invención se refiere al campo de los modelos de cadena de suministro y, más específicamente, a la aplicación de un modelo de internet físico (IF) a una arquitectura de cadena de suministro existente.

[0003] Descripción de la técnica relacionada

- 10 **[0004]** Una cadena de suministro es una red entre una empresa y sus proveedores para producir y distribuir un producto específico, y la cadena de suministro representa las etapas necesarias para que el cliente reciba el producto o servicio. La gestión de la cadena de suministro es un proceso esencial, puesto que una cadena de suministro optimizada da lugar a costes más bajos y a un ciclo de producción más rápido. La gestión de la logística de un negocio se refiere al proceso de producción y distribución dentro de la empresa, mientras que la gestión de la cadena de suministro incluye a los proveedores, los fabricantes, las empresas de logística y transporte y los comerciantes al por menor que distribuyen el producto al cliente final. Las cadenas de suministro incluyen cualquier negocio que entre en contacto con un producto concreto, incluyendo las empresas que montan y entregan piezas al fabricante.

- 20 **[0005]** Tradicionalmente, las cadenas de suministro han sido modeladas en el espacio digital mediante la creación de representaciones de bases de datos de cada nodo de cadena de suministro y de representaciones de bases de datos de cada agente de transporte; los camiones, trenes, aviones y barcos que transportan las mercancías de un nodo de cadena de suministro a otro. La simulación del rendimiento de una cadena de suministro concreta mediante el empleo de un modelo de cadena de suministro es tan sencilla como la realización de funciones de consulta y de agregación de base de datos en registros de base de datos que indican un estado del movimiento de las mercancías a lo largo de la cadena de suministro de acuerdo con tiempos y costes estimados durante el transporte. Otros modelos de cadena de suministro más recientes alcanzan el mismo resultado sin depender de la implementación de bases de datos relacionales y, en su lugar, modelan la cadena de suministro de acuerdo con principios orientados a objetos.

- 30 **[0006]** En la logística de la cadena de suministro, el internet físico o "IF" es un sistema de logística global abierto basado en la interconectividad física, digital y operativa, por medio de

encapsulación, interfaces y protocolos. Hace más de una década, el profesor Benoit Montreuil, profesor del departamento de operaciones y sistemas de decisión de la Universidad Laval de Quebec y miembro del Consejo de la Industria Universitaria sobre Educación en Manejo de Materiales (College-Industry Council on Material Handling Education [CICMHE]) concibió el IF como una mejora para la distribución y la logística mediante la aplicación de algunos de los principios del internet digital al movimiento físico de mercancías. Por eso, el internet físico gira alrededor de la noción básica de que un contenedor de transporte, como un encapsulador de paquetes, se comporta como los paquetes del conocido protocolo de internet (IP, por sus siglas en inglés) del internet digital, y se desplaza desde un origen hasta un destino a lo largo de una ruta de acuerdo con directivas de transporte similares al protocolo de control de transporte (TCP, por sus siglas en inglés) del internet digital.

[0007] Los modelos de IF para la adopción de decisiones de cadena de suministro presentan una ventaja significativa frente a los modelos de cadena de suministro tradicionales. No obstante, en la medida en que se suele considerar que el IF no ha sido probado en relación con el modelo de cadena de suministro testado, se ha tenido un poco de indecisión en lo referente a la adopción del modelo de IF en la práctica. Con el fin de ganar confianza en las capacidades y ventajas del internet físico, un actor que adopta decisiones en la cadena de suministro debe ser capaz de comparar los resultados y ventajas de la implementación del IF en lugar de un modelo de cadena de suministro para un caso de uso específico. Sin embargo, hacer esto puede ser costoso y requerir mucho tiempo, lo que necesita el desarrollo de un modelo de IF en primer lugar y, a continuación, la ejecución paralela de ambos sistemas para una potencial cadena de suministro y una comparación manual de los resultados.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

[0008] Los modos de realización de la presente invención abordan las deficiencias de la técnica con respecto a los modelos de IF y proporcionan un método, sistema y producto de programa informático novedosos y no evidentes para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. En un modo de realización de la invención, un método para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF incluye cargar en la memoria de un ordenador un modelo digital de cadena de suministro que comprende una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que transportan las mercancías y distintos puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen a un destino de cada una de las mercancías, y generar en la memoria del ordenador un gemelo

digital del modelo de cadena de suministro de acuerdo con un marco de IF.

[0009] El gemelo digital es generado mediante el establecimiento en la memoria de casos digitales de un nodo de red, casos digitales de un nodo de transporte y casos digitales de un contenedor de encaminamiento automático. Cada uno de los casos digitales del nodo de red lógicamente se corresponden con uno de los puntos de ruta correspondientes y cada uno de los casos digitales del nodo de transporte se refieren a un transportista correspondiente de los transportistas. Asimismo, cada uno de los casos digitales del contenedor de encaminamiento automático se corresponde lógicamente con un contenedor de transporte adaptado para poder contener algunas de las distintas mercancías. Por último, cada uno de los casos digitales del contenedor de encaminamiento automático especifican un nodo de red contemporáneo en el que se coloca el contenedor de encaminamiento automático, un nodo de red siguiente al que se ha de transportar el contenedor de encaminamiento automático y un nodo de transporte asignado para transportar el contenedor de encaminamiento automático al siguiente nodo de red. A continuación, al menos una restricción se almacena en cada uno de los casos digitales del contenedor de encaminamiento automático y al menos una regla se almacena en cada uno de los casos digitales del nodo de red, que determinan si el nodo de red acepta o no una solicitud para enrutar un caso digital especificado de los casos digitales del contenedor de transporte al siguiente nodo de red indicado por el caso digital especificado de los casos digitales.

[0010] A partir de entonces, se define una ruta de transporte para las mercancías en el modelo digital de la cadena de suministro y se registra un coste fijo para transportar las mercancías a lo largo de la ruta de transporte definida. El transporte de las mercancías puede, entonces, simularse en el gemelo digital a lo largo de una ruta determinada dinámicamente de acuerdo con el marco de IF. Asimismo, los costes asociados al transporte de las mercancías pueden calcularse en tiempo real de acuerdo con la ruta determinada, por ejemplo, los costes pecuniarios requeridos para efectuar el transporte de las mercancías, las emisiones de carbono resultantes del transporte de las mercancías, o cambios en un factor de carga de un mecanismo de transporte resultantes del transporte de las mercancías. Por último, se ofrece una comparación, en un visualizador del ordenador, de los costes fijos del transporte de las mercancías de acuerdo con el modelo digital de la cadena de suministro, con los costes calculados del transporte de las mercancías de acuerdo con la ruta determinada del gemelo digital.

[0011] En un aspecto del modo de realización, la carga en la memoria del ordenador de un modelo digital se limita a solamente una porción regional de la cadena de suministro. A saber, el

modelo digital incluye una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que transportan las mercancías y diferentes puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen en un territorio hasta un destino en el territorio de cada una de las mercancías. En otro aspecto del modo de realización, durante la simulación del transporte de las mercancías en el gemelo digital a lo largo de la ruta determinada dinámicamente, las condiciones de carga cambiantes son calculadas en cada caso de un nodo de transporte del gemelo digital. Por definición, la ruta se ajusta en el gemelo digital para tener en cuenta las condiciones de carga de exceso de capacidad y de falta de capacidad en casos del nodo de transporte a lo largo de la ruta.

10 **[0012]** En otro modo de realización de la invención, un sistema de procesamiento de datos se adapta para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. El sistema incluye una plataforma informática anfitriona que incluye uno o más ordenadores, presentando cada uno memoria y al menos un procesador. El sistema también incluye un módulo de comparación de gemelo digital. El módulo incluye instrucciones de programa de ordenador
15 habilitadas mientras se ejecutan en la plataforma informática anfitriona para cargar en la memoria un modelo digital de una cadena de suministro que incluye una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que transportan las mercancías y distintos puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen a un destino de cada una de las mercancías, y la generación en la memoria del ordenador de un gemelo digital del modelo de
20 cadena de suministro de acuerdo con un marco de IF.

[0013] A partir de entonces, se define una ruta de transporte para las mercancías en el modelo digital de la cadena de suministro y se registra un coste fijo para transportar las mercancías a lo largo de la ruta de transporte definida. A continuación, el transporte de las mercancías puede simularse en el gemelo digital a lo largo de una ruta determinada dinámicamente de acuerdo con
25 el marco de IF y pueden calcularse los costes asociados al transporte de las mercancías en tiempo real de acuerdo con la ruta determinada. Por último, puede ofrecerse una comparación en un visualizador del ordenador de los costes fijos de transporte de las mercancías de acuerdo con el modelo digital de la cadena de suministro, con los costes calculados del transporte de las mercancías de acuerdo con la ruta determinada del gemelo digital.

30 **[0014]** Otros aspectos de la invención serán descritos parcialmente en la descripción siguiente y serán parcialmente evidentes a partir de la descripción o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención. Los aspectos de la invención se realizarán y se alcanzarán por medio

de los elementos y las combinaciones que se señalan especialmente en las reivindicaciones adjuntas. Cabe observar que tanto la descripción general anterior como la descripción detallada siguiente son ilustrativas y explicativas solamente y no limitan la invención, tal y como se reivindica.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

[0015] Los dibujos adjuntos, que se incorporan en la presente memoria y forman parte de la presente memoria, ilustran modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. Los modos de realización ilustrados en la presente memoria son preferidos actualmente, entendiéndose, no obstante, que la invención no se limita a las disposiciones e instrumentos mostrados, donde:

[0016] La figura 1 es una ilustración gráfica de un proceso para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF;

[0017] La figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema de procesamiento de datos de simulación configurado para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF; y,

[0018] La figura 3 es un diagrama de flujo que muestra un proceso para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0019] Los modos de realización de la invención dan a conocer una simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. De acuerdo con un modo de realización de la invención, la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF incluye la transformación de un modelo de cadena de suministro de una cadena de suministro en un gemelo de IF del modelo de cadena de suministro. El proceso de transformación incluye la transformación de cada contenedor de mercancías del modelo de cadena de suministro en un objeto de contenedor en el gemelo de IF y la transformación de cada actor de la cadena de suministro, incluyendo tanto las instalaciones y los transportistas del modelo de cadena de suministro, en un nodo de red de IF o un transporte de IF, según el caso, en el gemelo de IF. Cada objeto de contenedor es anotado para relacionar el objeto con el contenedor correspondiente del modelo de cadena de suministro y cada nodo de red de IF es anotado en el gemelo de IF con la instalación correspondiente del modelo de cadena de suministro, mientras

que cada transporte de IF es anotado en el gemelo de IF con un transportista de cadena de suministro correspondiente. A continuación, los nodos de red de IF se vinculan entre sí de acuerdo con la relación ascendente y descendente de cada actor correspondiente del modelo de cadena de suministro y se representan mediante un objeto de enlace de IF relacionando los nodos de red de IF, la ruta entre ellos y uno o más transportes de IF que prestan servicios en la ruta. Se generan reglas de enrutamiento para cada uno de los nodos de red de IF y transportistas de IF asignados a las diferentes rutas.

[0020] A continuación, se adquieren métricas contemporáneas para cada uno de los nodos de red de IF y los transportes de IF en tiempo real a partir de las métricas medidas para los actores correspondientes del modelo de cadena de suministro. A continuación, las reglas de los nodos de red de IF se ejecutan a partir de las métricas en tiempo real adquiridas con el fin de seleccionar una ruta en el gemelo de IF para un contenedor especificado del modelo de cadena de suministro y un transporte de IF correspondiente, y calcular un coste resultante de la ruta seleccionada. El coste resultante de la ruta seleccionada producido por el gemelo de IF, incluyendo el manejo y el almacenamiento en cada nodo de red de IF de la ruta, se compara con un coste fijo de la ruta junto con el manejo y el almacenamiento en cada instalación en ruta proporcionados por el modelo de cadena de suministro con el fin de demostrar la eficacia de la selección de ruta de acuerdo con el modelo de IF.

[0021] En una ilustración adicional, la figura 1 gráfica muestra un proceso para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. Tal y como se muestra en la figura 1, un modelo de cadena de suministro 100 se construye en la memoria de un ordenador representativo de una cadena de suministro. El modelo de cadena de suministro 100 incluye diferentes elementos de datos representativos de diferentes puntos de ruta de producción y montaje 110, diferentes puntos de ruta de transporte 120, diferentes modos de transporte 130 y diferentes puntos de ruta de distribución 140. El modelo de cadena de suministro 100 combina los elementos de datos anteriores para mostrar el movimiento de mercancías desde uno de los puntos de ruta 110, 120, 140 a otro de los puntos de ruta 110, 120, 140 por medio de uno o más de los modos de transporte 130.

[0022] A continuación, se construye un gemelo digital 150 del modelo de cadena de suministro 100 a modo de transformación del modelo de cadena de suministro 100. En el gemelo digital 150, se crea un caso de un contenedor 155 junto con múltiples casos diferentes de un nodo de red de IF 160. Cada caso del contenedor 155 encapsula una estructura de datos 180 que almacena una

o más restricciones, tales como la capacidad, un caso actual de entre los casos del nodo de red de IF 160, un caso siguiente de entre los casos del nodo de red de IF 160 y un destino de entre los casos del nodo de red de IF 160. Cada uno de los casos del nodo de red de IF 160, a su vez, encapsula una estructura de datos 170 que almacena un estado, tal como una localización geográfica y una capacidad, así como una distancia de otros casos del nodo de red de IF 160 y la congestión en la ruta entre ellos, y también una regla que especifica cuándo aceptar el enrutamiento de un caso del contenedor 155. De esta manera, un caso del contenedor 155 puede calcular dinámicamente una ruta desde una fuente de entre los casos del nodo de red de IF 160 a un destino de entre los casos del nodo de red de IF 160 a partir de un estado almacenado en la estructura de datos 170 de un caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF 160 y la regla o las reglas de la estructura de datos 170 del caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF 160.

[0023] En particular, puede medirse el rendimiento 190B del gemelo digital 150 en el transporte del caso del contenedor 155 a lo largo de una ruta determinada dinámicamente desde la fuente de entre los casos del nodo de IF 160 al destino de entre los casos del nodo de IF 160. A este respecto, el rendimiento 190B puede incluir un coste total calculado para el transporte y el manejo en el nodo y, opcionalmente, el almacenamiento del caso del contenedor 155 a lo largo de la ruta. Asimismo, el rendimiento 190B puede incluir una cantidad total de emisiones de carbono emitidas en el curso del transporte del caso del contenedor 155 a lo largo de la ruta. Aún adicionalmente, el rendimiento 190B puede incluir un factor de carga para el caso del contenedor 155 alcanzado mediante el uso de la ruta. Un comparador 175 compara el rendimiento 190B calculado para el gemelo digital 150 con un rendimiento predeterminado 190A del modelo de cadena de suministro 100 para transportar mercancías equivalentes desde uno de los puntos de ruta 110, 120, 140 correspondiente a la fuente de entre los casos del nodo de red de IF 160 a otro de los puntos de ruta 110, 120, 140 correspondiente al destino de entre los casos del nodo de red de IF 160. La comparación de los rendimientos 190A, 190B se presenta, a continuación, en una interfaz de usuario 165 para el gemelo digital 150.

[0024] El proceso descrito en relación con la figura 1 puede implementarse en un sistema de procesamiento de datos de simulación. En una ilustración adicional, la figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de procesamiento de datos de simulación configurado para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. El sistema incluye una plataforma informática anfitriona 210 que incluye una memoria 240, al menos un procesador

250 y un sistema de circuitos de comunicaciones de red 260. La plataforma informática anfitriona 210 se acopla de forma comunicativa a diferentes servidores 220 a lo largo de una red de comunicaciones informática 230. A este respecto, algunos de los servidores 220 soportan el funcionamiento de un sistema informático de empresa que almacena datos que pertenecen a un actor de la cadena de suministro, por ejemplo, un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), un sistema de gestión de transporte (TMS, por sus siglas en inglés) o la administración de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés). Otros de los servidores 220 directamente perciben condiciones ambientales en la cadena de suministro, tales como dispositivos configurados del internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) fijados en contenedores de transporte, modos de transporte e instalaciones que alojan contenedores.

[0025] Cabe destacar que el sistema incluye un módulo de comparación de gemelo digital 300. El módulo 300 incluye instrucciones de programa de ordenador que, cuando se ejecutan en la memoria 240, puede utilizarse para generar un modelo de cadena de suministro 280 en la memoria 240 recuperando datos de cadena de suministro de los distintos servidores 220 correspondientes a los distintos actores de la cadena de suministro, tales como los puntos de ruta de distribución, los operarios del modo de transporte, los puntos de ruta de fabricación y de montaje, etc. En concreto, las instrucciones de programa recuperan los datos por medio de consultas a distintos sistemas de empresa emitidas por el monitor en tiempo real 270 para distintas organizaciones que participan en la cadena de suministro y que mantienen sistemas informáticos de empresa que gestionan la información utilizada durante la participación y generada por la participación. A continuación, las instrucciones de programa añaden la información recuperada a distintas estructuras de datos del modelo de cadena de suministro 280, modelando la cadena de suministro. A este respecto, la estructura de datos puede ser una recopilación de registros en una base de datos organizada para modelar la cadena de suministro. Alternativamente, la estructura de datos puede ser una disposición de casos de distintos objetos representativos de los diferentes componentes de la cadena de suministro en una arquitectura orientada a objetos.

[0026] Las instrucciones de programa son habilitadas, además, para transformar el modelo de cadena de suministro 280 en un gemelo digital 290 de acuerdo con una arquitectura de IF. Opcionalmente, solo una porción regional de la cadena de suministro reflejada en el modelo de cadena de suministro 280 puede transformarse en el gemelo digital 290. La selección de la

porción regional puede producirse mediante el filtrado del modelo de cadena de suministro 280 en solamente porciones regionales de recopilaciones de puntos de ruta y enlaces entre ellos. A continuación, puede seleccionarse una de las porciones regionales. Todos los puntos de ruta y actores de la porción regional seleccionada entre las porciones regionales son identificados a continuación y utilizados durante la transformación de la porción regional de la cadena de suministro en el gemelo digital 290.

[0027] Tanto si se selecciona o no una región concreta o la cadena de suministro completa para la transformación, la transformación puede producir el gemelo digital 290 en forma de una arquitectura orientada a objetos relacionando distintos casos de distintos objetos de nodo de red de IF entre sí, así como con distintos casos de objetos de contenedor, distintos casos de objetos de enlace de IF que enlazan los casos de los objetos de nodo de red de IF y distintos casos de objetos de transportista de IF que transportan casos de los objetos de contenedor desde un caso de los nodos de red de IF a otro. Opcionalmente, lo anterior puede implementarse en una base de datos relacional de una multiplicidad de tablas distintas, o lo anterior puede implementarse en una base de datos de objetos, o lo anterior puede ser código de programa implementado de un programa de ordenador orientado a objetos.

[0028] Durante el proceso de transformación, puede crearse un caso de un nodo de red de IF para cada porción de la estructura de datos del modelo de cadena de suministro 280 correspondiente a un punto de ruta en una porción seleccionada del modelo de cadena de suministro 280. El proceso de transformación también crea un caso de un contenedor para cada contenedor del modelo de cadena de suministro 280 y un caso de un transporte de IF para cada transportista del modelo de cadena de suministro 280. El caso del nodo de red de IF puede incluir información, tal como un estado del nodo de red de IF y una o más reglas para enrutar los contenedores que se dirigen al caso del nodo de red de IF o los contenedores presentes en el caso del nodo de red de IF. El estado del caso del nodo de red de IF puede determinarse a partir de información de estado del modelo de cadena de suministro 280 extraída por el monitor en tiempo real 270 de uno o más de los servidores 220 que pertenecen al punto de ruta representado por un punto de ruta asociado de la cadena de suministro.

[0029] Las reglas, a su vez, pueden especificar los criterios a partir de los cuales se acepta el enrutamiento de un contenedor a través del caso del nodo de red de IF desde el punto de vista de la capacidad y el coste. Las reglas especifican, además, los criterios a partir de los cuales se permite que un contenedor permanezca en el caso del nodo de red de IF a la espera de ser

enrutado a un siguiente caso del nodo de red de IF, lo que también depende de la capacidad y del coste. En concreto, las reglas especifican a qué contenedores se les dará prioridad para su enrutamiento, qué caso de los transportes de IF se debe seleccionar para el enrutamiento y qué casos del nodo de red de IF se deben considerar como un siguiente caso del nodo de red de IF en una ruta hacia el destino de entre los casos del nodo de red de IF. Las reglas también pueden especificar si se enruta o no un contenedor hacia un caso siguiente seleccionado del nodo de red de IF con un caso disponible de un transporte de IF, o si debe permanecer o no el contenedor en el caso actual del nodo de red de IF hasta que esté disponible un caso más deseable del transporte de IF, por ejemplo, basándose en factores de coste o en factores de modo, cambiando de un modo de transporte, tal como el ferroviario, a otro modo de transporte, tal como el aéreo, restringiéndose esta decisión por restricciones de coste y tiempo especificadas para el caso del contenedor.

[0030] A continuación, las instrucciones de programa pueden utilizarse para simular el enrutamiento de las mercancías desde un origen a un destino de la cadena de suministro y para comparar los costes de realizarlo por medio de un enrutamiento seleccionado de acuerdo con el modelo de cadena de suministro 280 con los costes de realizarlo por medio del marco de IF evidente en el gemelo digital 290. Concretamente, mientras que los costes de enrutar las mercancías de acuerdo con el modelo de cadena de suministro 280 son fijos y conocidos *a priori* con respecto a una ruta seleccionada del modelo de cadena de suministro 280, el enrutamiento del gemelo digital 290 es dinámico y el coste, por consiguiente, se calcula dinámicamente y solo se sabe con certeza una vez se ha finalizado el enrutamiento. Por lo tanto, las instrucciones de programa crean en el gemelo digital 290 uno o más casos del objeto de contenedor que encapsula las mercancías y establece allí datos que definen la capacidad y carga de los casos de los objetos de contenedor, un caso de destino del nodo de red de IF, un caso actual del nodo de red de IF y un caso siguiente del nodo de red de IF que puede alojar un enrutamiento hasta el caso de destino del nodo de red de IF.

[0031] A partir de entonces, las instrucciones de programa inician la simulación, permitiendo al contenedor en cada caso del nodo de red de IF del gemelo digital 290 determinar un caso siguiente del nodo de red de IF basándose en las reglas encapsuladas por un caso actual del nodo de red de IF y en reglas encapsuladas por el caso siguiente potencial del nodo de red de IF del gemelo digital 290. En cada caso del nodo de red de IF del enrutamiento, se acumulan los costes, tales como el factor de carga del contenedor, la emisión de sustancias contaminantes, o

los costes pecuniarios de transporte y almacenamiento. Una vez se haya finalizado el enrutamiento y el contenedor haya llegado al caso de destino del nodo de red de IF en el gemelo digital 290, las instrucciones de programa comparan los costes totales del enrutamiento de acuerdo con el marco de IF aplicado a la cadena de suministro del modelo del gemelo digital 290 con los costes del enrutamiento de las mercancías de acuerdo con el modelo de cadena de suministro 280. Las instrucciones de programa pueden visualizar esta comparación del transporte de uno o más casos del objeto de contenedor a lo largo de distintas rutas calculadas dinámicamente de acuerdo con el marco de IF en una interfaz de usuario con el módulo de comparación de gemelo digital 300 en un visualizador de la plataforma informática anfitriona.

10 **[0032]** En una ilustración adicional del funcionamiento del módulo de comparación de gemelo digital 300, la figura 3 es un diagrama de flujo que muestra un proceso para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de IF. Empezando por el bloque 310, se carga un modelo de cadena de suministro en la memoria de un ordenador y, en el bloque 320, se inicializa un gemelo digital del modelo de cadena de suministro en la memoria. En el bloque 330,
15 los elementos de modelo del modelo de cadena de suministro son transformados en casos de un nodo de red de IF, casos de un enlace de IF que enlaza los casos del nodo de red de IF y casos de un transportista de IF del gemelo digital. En el bloque 340, se establece una o más reglas de nodo en cada uno de los casos del nodo de red de IF del gemelo digital. A continuación, en el bloque 350 se crean distintos casos de un objeto de contenedor en el gemelo digital y cada uno
20 se configura con al menos una restricción, tal como la capacidad, el momento en el que el contenedor debe llegar a su destino o la temperatura a la que deben mantenerse las mercancías dentro del contenedor correspondiente, por mencionar algunos ejemplos.

[0033] En el bloque 360, se recupera el coste conocido de transportar, tratar y almacenar las mercancías desde un origen hasta un destino de acuerdo con el modelo de cadena de suministro
25 junto con distintos indicadores clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) operacionales y ambientales. A continuación, en el bloque 370, se simula el transporte de cada contenedor desde un caso de origen del nodo de red de IF a un caso de destino del nodo de red de IF de acuerdo con las reglas de nodo de cada caso del nodo de IF a lo largo de la ruta, mediante el uso de distintos casos seleccionados de un transportista de IF. En el bloque 380, durante la
30 simulación, se calculan los costes asociados al movimiento de cada contenedor desde un caso de un nodo de red de IF a otro y se suman a un coste total. Por último, en el bloque 390, se ofrece una comparación de los costes del transporte de las mercancías de acuerdo con el modelo de

cadena de suministro con respecto al marco de IF del gemelo digital en una interfaz de usuario del gemelo digital. Asimismo, los KPI de cada enfoque pueden compararse y visualizarse en la interfaz de usuario del gemelo digital. De este modo, pueden visualizarse las ventajas ofrecidas por el transporte de las mercancías de acuerdo con el marco de IF con el fin de inspirar confianza en la aplicación del marco de IF a una cadena de suministro existente.

[0034] La presente invención puede realizarse en un sistema, un método, un producto de programa informático o cualquier combinación de los mismos. El producto de programa informático puede incluir un medio de almacenamiento legible por ordenador o medios que presentan instrucciones de programa legibles por ordenador para hacer que un procesador lleve a cabo aspectos de la presente invención. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un dispositivo tangible que puede guardar y almacenar instrucciones para que las use un dispositivo de ejecución de instrucciones. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero sin carácter limitativo, un dispositivo de almacenamiento electrónico, un dispositivo de almacenamiento magnético, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento electromagnético, un dispositivo de almacenamiento semiconductor o cualquier combinación adecuada de los anteriores.

[0035] Las instrucciones de programa legibles por ordenador descritas en la presente memoria pueden descargarse en dispositivos informáticos/de procesamiento respectivos desde un medio de almacenamiento legible por ordenador o en un ordenador externo o un dispositivo de almacenamiento externo a través de una red. Las instrucciones de programa legibles por ordenador pueden ejecutarse por completo en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, como un paquete de *software* independiente, parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o por completo en el ordenador remoto o servidor. Los aspectos de la presente invención son descritos en la presente memoria con respecto a ilustraciones de diagrama de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparatos (sistemas) y productos de programa informático de acuerdo con modos de realización de la invención. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones de diagrama de flujo y/o de los diagramas de bloques, así como las combinaciones de bloques de las ilustraciones de diagrama de flujo y/o de los diagramas de bloques pueden implementarse mediante instrucciones de programa legibles por ordenador.

[0036] Estas instrucciones de programa legibles por ordenador pueden ser proporcionadas a un procesador de un ordenador de uso general, un ordenador especializado u otro aparato de

procesamiento de datos programable para producir una máquina, de tal forma que las instrucciones, que se ejecutan por medio del procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, crean medios para implementar las funciones/actos especificados en el bloque o los bloques del diagrama de flujo y/o del diagrama de bloques. Estas
5 instrucciones de programa legibles por ordenador también pueden almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que puede ordenar a un ordenador, un aparato de procesamiento de datos programable y/u otros dispositivos que funcionen de un modo concreto, de tal manera que el medio de almacenamiento legible por ordenador, que presenta instrucciones almacenadas en el mismo, incluye un producto manufacturado que incluye instrucciones que
10 implementan aspectos de la función/el acto especificados en el bloque o los bloques del diagrama de flujo y/o del diagrama de bloques.

[0037] Las instrucciones de programa legibles por ordenador también pueden cargarse en un ordenador, en otro aparato de procesamiento de datos programable o en otro dispositivo para hacer que se lleven a cabo una serie de etapas operativas en el ordenador, en otro aparato
15 programable o en otro dispositivo para producir un proceso implementado en ordenador, de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador, en otro aparato programable o en otro dispositivo implementen las funciones/los actos especificados en el bloque o los bloques del diagrama de flujo y/o del diagrama de bloques.

[0038] El diagrama de flujo y los diagramas de bloques de las figuras ilustran la arquitectura,
20 la funcionalidad y el funcionamiento de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programa informático de acuerdo con diversos modos de realización de la presente invención. A este respecto, cada bloque del diagrama de flujo o de los diagramas de bloques puede representar un módulo, un segmento o una porción de instrucciones, que incluye una o más instrucciones ejecutables para implementar la o las funciones lógicas específicas. En
25 algunas implementaciones alternativas, las funciones anotadas en el bloque pueden producirse en un orden distinto al indicado en las figuras. Por ejemplo, dos bloques mostrados sucesivamente pueden, de hecho, ejecutarse de manera sustancialmente simultánea o los bloques pueden, en ocasiones, ejecutarse en el orden inverso, en función de la funcionalidad en cuestión. Asimismo, cabe observar que cada bloque de los diagramas de bloques y/o de la
30 ilustración de diagrama de flujo, así como combinaciones de bloques de los diagramas de bloques y/o de la ilustración del diagrama de flujo, pueden implementarse mediante sistemas basados en *hardware* especializados que realizan las funciones o los actos específicos o llevan a cabo

combinaciones de instrucciones de ordenador y *hardware* especializado.

[0039] Por último, la terminología utilizada en la presente memoria tiene como objetivo describir modos de realización concretos solo y no pretende limitar la invención. Tal y como se utilizan en la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" pretenden incluir las formas plurales también, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Asimismo, se entenderá que los términos "incluir", "incluye" y/o "que incluye", cuando se utilizan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes expuestos, pero no excluyen la presencia o la adición de uno o más números enteros, características, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos distintos.

[0040] Las estructuras, materiales, actos y equivalentes de todos los medios o de los elementos de etapa más función correspondientes de las reivindicaciones siguientes pretenden incluir cualquier estructura, material o acto para llevar a cabo la función en combinación con otros elementos reivindicados, tal y como se reivindican de manera específica. La descripción de la presente invención se ha expuesto con files ilustrativos y descriptivos, pero no pretende ser exhaustiva ni limitarse a la invención en la forma expuesta. A los expertos en la materia les parecerán evidentes muchas modificaciones y variaciones sin desviarse del alcance y espíritu de la invención. El modo de realización fue elegido y descrito con la finalidad de explicar de la mejor manera los principios de la invención y la aplicación práctica, así como para permitir a otros expertos en la materia comprender la invención con respecto a diversos modos de realización con diversas modificaciones, según convenga para el uso concreto contemplado.

[0041] Una vez descrita así la invención de la presente solicitud en detalle y con referencia a modos de realización de la misma, resultará evidente que son posibles modificaciones y variaciones sin desviarse del alcance de la invención definido en las reivindicaciones adjuntas siguientes:

REIVINDICACIONES

1. Un método para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF), comprendiendo el método:

5 cargar en la memoria de un ordenador un modelo digital de una cadena de suministro (100) que incluye una pluralidad de elementos de datos (110,120,130,140) representativos de: diferentes puntos de una ruta de producción y montaje (110); diferentes puntos de una ruta de transporte (120); diferentes modos de transporte (130) y diferentes puntos de una ruta de distribución (140);

10 en donde el modelo de cadena de suministro (100) combina la pluralidad de elementos de datos (110, 120, 130, 140) para mostrar un movimiento de mercancías desde un punto de ruta (110,120,140) a otro punto de ruta (110,120,140) por medio de uno o más de los modos de transporte (130);

15 generar en la memoria del ordenador un gemelo digital (150) del modelo de cadena de suministro (100) de acuerdo con un marco IF en donde en el gemelo digital (150) se crea un caso de un contenedor (155) junto con múltiples casos diferentes de un nodo de red IF (160);

20 y donde cada caso del contenedor (155) encapsula una estructura de datos (180) que almacena una o más restricciones, un caso actual de entre los casos del nodo de red IF (160), un caso siguiente de entre los casos del nodo de red de IF (160) y un destino entre los casos del nodo de red de IF (160); y donde cada uno de los casos del nodo de red IF (160), a su vez, encapsula una estructura de datos (170) que almacena un estado, así como una distancia de otros casos del nodo de red de IF (160) y la congestión en la ruta entre ellos, y también una regla que especifica cuando aceptar el enrutamiento de un caso de contenedor (155);

25 y donde un caso del contenedor (155) está configurado para calcular dinámicamente una ruta desde una fuente de entre los casos del nodo de red de IF (160) a un destino de entre los casos del nodo de red de IF (160) a partir de un estado almacenado en la estructura de datos (170) de un caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF (160) y la regla o las reglas de la estructura de datos (170) del caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF (160); todo ello de tal forma
30 que puede medirse en tiempo real un rendimiento (190B) del gemelo digital (150) en el transporte del contenedor (155) a lo largo de una ruta determinada dinámicamente desde la fuente de entre los casos del nodo de IF (160) al destino de entre los casos del

nodo de IF (160);

y donde un comparador (175) compara el rendimiento 190B calculado para el gemelo digital (150) con un rendimiento predeterminado (190A) del modelo de cadena de suministro (100) para transportar mercancías equivalentes desde uno de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente a la fuente de entre los casos del nodo de red de IF (160) a otro de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente al destino de entre los casos del nodo de red de IF (160), y donde la comparación de los rendimientos (190A, 190B) se presenta, a continuación, en una interfaz de usuario (165) para el gemelo digital (150);

y donde el método también incluye calcular las condiciones de carga cambiantes en cada caso de un nodo de red del gemelo digital y ajustar la ruta para tener en cuenta las condiciones de carga de exceso de capacidad y de falta de capacidad en casos del nodo de red a lo largo de la ruta durante la simulación del transporte de las mercancías en el gemelo digital a lo largo de la ruta determinada dinámicamente.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que también comprende:

cargar en la memoria del ordenador un modelo digital de solamente una porción regional de la cadena de suministro que comprende una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que transportan las mercancías y diferentes puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen en un territorio hasta un destino en el territorio de cada una de las mercancías.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde los costes del gemelo digital se miden en términos de emisiones de carbono resultantes del transporte de las mercancías.

4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde la comparación incluye adicionalmente una comparación de un factor de carga resultante del transporte de las mercancías.

5. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde la comparación incluye adicionalmente una comparación de los indicadores clave de rendimiento medidos para la cadena de suministro en relación con el marco de IF.

6. Sistema de procesamiento de datos adaptado para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF), comprendiendo el sistema:

una plataforma informática anfitriona (210) que comprende uno o más ordenadores, comprendiendo cada uno memoria (240) y al menos un procesador (260);

5 y,

un módulo de comparación de gemelo digital (300) que comprende instrucciones de programa de ordenador habilitadas mientras se ejecutan en la plataforma informática anfitriona (210) para llevar a cabo:

10 cargar en la memoria de un ordenador un modelo digital de una cadena de suministro (100) que incluye una pluralidad de elementos de datos (110,120,130,140) representativos de: diferentes puntos de una ruta de producción y montaje (110); diferentes puntos de una ruta de transporte (120); diferentes modos de transporte (130) y diferentes puntos de una ruta de distribución (140);

15 en donde el modelo de cadena de suministro (100) combina la pluralidad de elementos de datos (110, 120, 130, 140) para mostrar un movimiento de mercancías desde un punto de ruta (110,120,140) a otro punto de ruta (110,120,140) por medio de uno o más de los modos de transporte (130);

20 generar en la memoria del ordenador un gemelo digital (150) del modelo de cadena de suministro (100) de acuerdo con un marco IF en donde en el gemelo digital (150) se crea un caso de un contenedor (155) junto con múltiples casos diferentes de un nodo de red IF (160);

25 y donde cada caso del contenedor (155) encapsula una estructura de datos (180) que almacena una o más restricciones, un caso actual de entre los casos del nodo de red IF (160), un caso siguiente de entre los casos del nodo de red de IF (160) y un destino entre los casos del nodo de red de IF (160); y donde cada uno de los casos del nodo de red IF (160), a su vez, encapsula una estructura de datos (170) que almacena un estado, así como una distancia de otros casos del nodo de red de IF (160) y la congestión en la ruta entre ellos, y también una regla que especifica cuando aceptar el enrutamiento de un caso de contenedor (155);

30 y donde un caso del contenedor (155) está configurado para calcular dinámicamente una ruta desde una fuente de entre los casos del nodo de red de IF (160) a un destino de entre los casos del nodo de red de IF (160) a partir de un estado almacenado en la estructura de datos (170) de un caso seleccionado de entre los casos

del nodo de red de IF (160) y la regla o las reglas de la estructura de datos (170) del caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF (160); todo ello de tal forma que puede medirse en tiempo real un rendimiento (190B) del gemelo digital (150) en el transporte del contenedor (155) a lo largo de una ruta determinada dinámicamente desde la fuente de entre los casos del nodo de IF (160) al destino de entre los casos del

5 nodo de IF (160);

y donde un comparador (175) compara el rendimiento 190B calculado para el gemelo digital (150) con un rendimiento predeterminado (190A) del modelo de cadena de suministro (100) para transportar mercancías equivalentes desde uno de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente a la fuente de entre los casos del nodo de red de IF (160) a otro de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente al destino de entre los casos del nodo de red de IF (160), y donde la comparación de los rendimientos (190A, 190B) se presenta, a continuación, en una interfaz de usuario (165) para el gemelo digital (150);

10

y donde las instrucciones de programa también llevan a cabo el cálculo de las condiciones de carga cambiantes en cada caso de un nodo de transporte del gemelo digital y el ajuste de la ruta para tener en cuenta las condiciones de carga de exceso de capacidad y de falta de capacidad en casos del nodo de red a lo largo de la ruta durante la simulación del transporte de las mercancías en el gemelo digital a lo largo de la ruta determinada dinámicamente.

15

20

7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde las instrucciones de programa también llevan a cabo la carga en la memoria del ordenador de un modelo digital de solamente una porción regional de la cadena de suministro que comprende una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que transportan las mercancías y diferentes puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen en un territorio hasta un destino en el territorio de cada una de las mercancías.

25

8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde los costes del gemelo digital se miden en términos de emisiones de carbono resultantes del transporte de las mercancías.

30

9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde la comparación incluye adicionalmente una comparación de un factor de carga resultante del transporte de las mercancías.

10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde la comparación incluye adicionalmente una comparación de los indicadores clave de rendimiento medidos para la cadena de suministro en relación con el marco de IF.

11. Producto de programa informático para la simulación de gemelo digital de una cadena de suministro en un marco de internet físico (IF), incluyendo el producto de programa informático un medio de almacenamiento legible por ordenador que presenta instrucciones de programa incorporadas en el mismo, siendo las instrucciones de programa ejecutables por un dispositivo para hacer que el dispositivo lleve a cabo un método, que incluye:

cargar en la memoria de un ordenador un modelo digital de una cadena de suministro (100) que incluye una pluralidad de elementos de datos (110,120,130,140) representativos de: diferentes puntos de una ruta de producción y montaje (110); diferentes puntos de una ruta de transporte (120); diferentes modos de transporte (130) y diferentes puntos de una ruta de distribución (140);

en donde el modelo de cadena de suministro (100) combina la pluralidad de elementos de datos (110, 120, 130, 140) para mostrar un movimiento de mercancías desde un punto de ruta (110,120,140) a otro punto de ruta (110,120,140) por medio de uno o más de los modos de transporte (130);

generar en la memoria del ordenador un gemelo digital (150) del modelo de cadena de suministro (100) de acuerdo con un marco IF en donde en el gemelo digital (150) se crea un caso de un contenedor (155) junto con múltiples casos diferentes de un nodo de red IF (160);

y donde cada caso del contenedor (155) encapsula una estructura de datos (180) que almacena una o más restricciones, un caso actual de entre los casos del nodo de red IF (160), un caso siguiente de entre los casos del nodo de red de IF (160) y un destino entre los casos del nodo de red de IF (160); y donde cada uno de los casos del nodo de red IF (160), a su vez, encapsula una estructura de datos (170) que almacena un estado, así como una distancia de otros casos del nodo de red de IF (160) y la congestión en la ruta entre ellos, y también una regla que especifica cuando aceptar el

enrutamiento de un caso de contenedor (155);

5 y donde un caso del contenedor (155) está configurado para calcular dinámicamente una ruta desde una fuente de entre los casos del nodo de red de IF (160) a un destino de entre los casos del nodo de red de IF (160) a partir de un estado almacenado en la estructura de datos (170) de un caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF (160) y la regla o las reglas de la estructura de datos (170) del caso seleccionado de entre los casos del nodo de red de IF (160); todo ello de tal forma que puede medirse en tiempo real un rendimiento (190B) del gemelo digital (150) en el transporte del contenedor (155) a lo largo de una ruta determinada dinámicamente desde la fuente de entre los casos del nodo de IF (160) al destino de entre los casos del
10 nodo de IF (160);

y donde un comparador (175) compara el rendimiento 190B calculado para el gemelo digital (150) con un rendimiento predeterminado (190A) del modelo de cadena de suministro (100) para transportar mercancías equivalentes desde uno de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente a la fuente de entre los casos del nodo de red
15 de IF (160) a otro de los puntos de ruta (110, 120, 140) correspondiente al destino de entre los casos del nodo de red de IF (160), y donde la comparación de los rendimientos (190A, 190B) se presenta, a continuación, en una interfaz de usuario (165) para el gemelo digital (150);

y donde el método también incluye el cálculo de las condiciones de carga
20 cambiantes en cada caso de un nodo de red del gemelo digital y el ajuste de la ruta para tener en cuenta las condiciones de carga de exceso de capacidad y de falta de capacidad en casos del nodo de transporte a lo largo de la ruta durante la simulación del transporte de las mercancías en el gemelo digital a lo largo de la ruta determinada dinámicamente,.

25

12. Producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 13, donde el método también incluye la carga en la memoria del ordenador de un modelo digital de solamente una porción regional de la cadena de suministro que comprende una representación digital de cada una de distintas mercancías, transportistas que
30 transportan las mercancías y diferentes puntos de ruta geográficos de la cadena de suministro desde un origen en un territorio hasta un destino en el territorio de cada una de las mercancías.

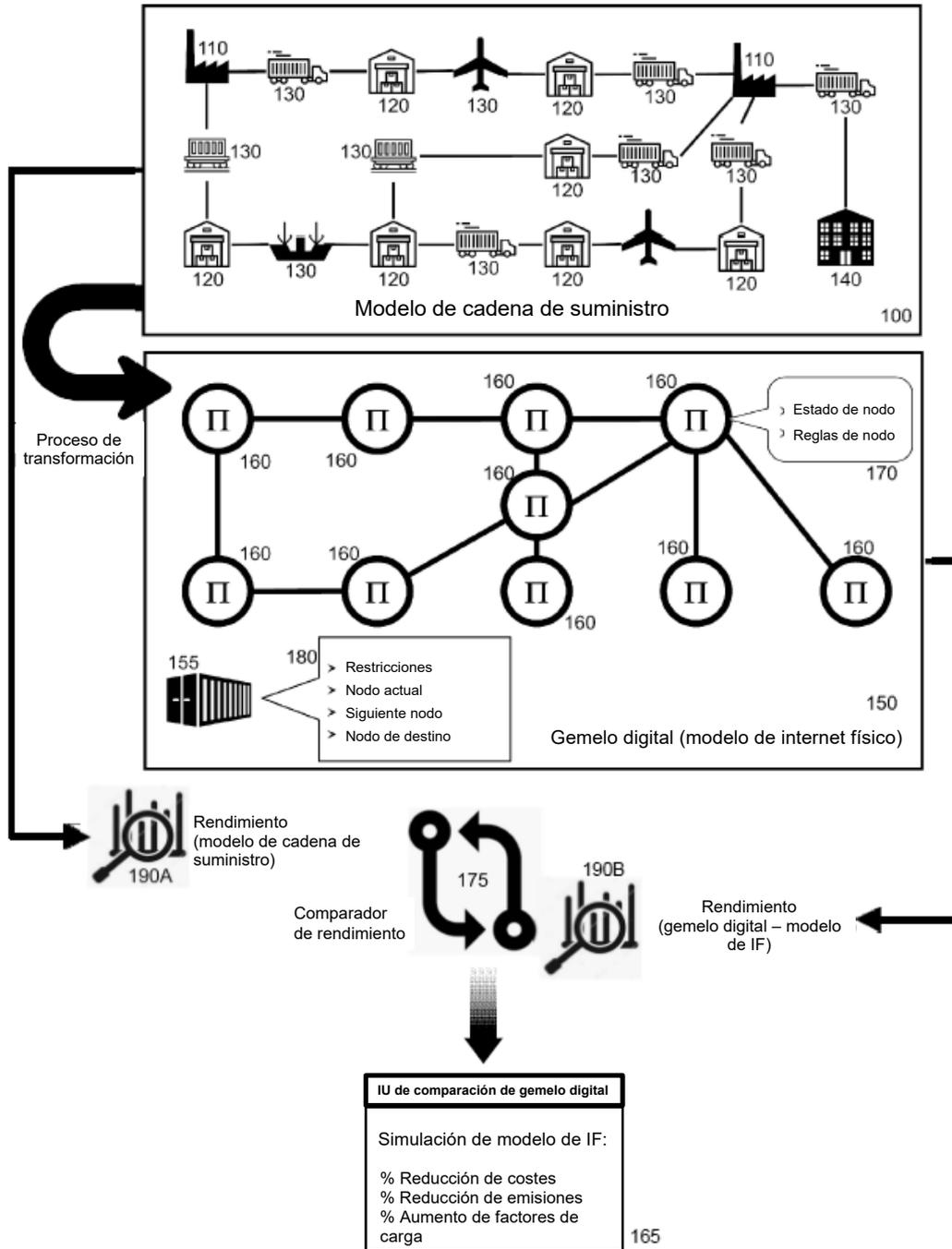


FIG. 1

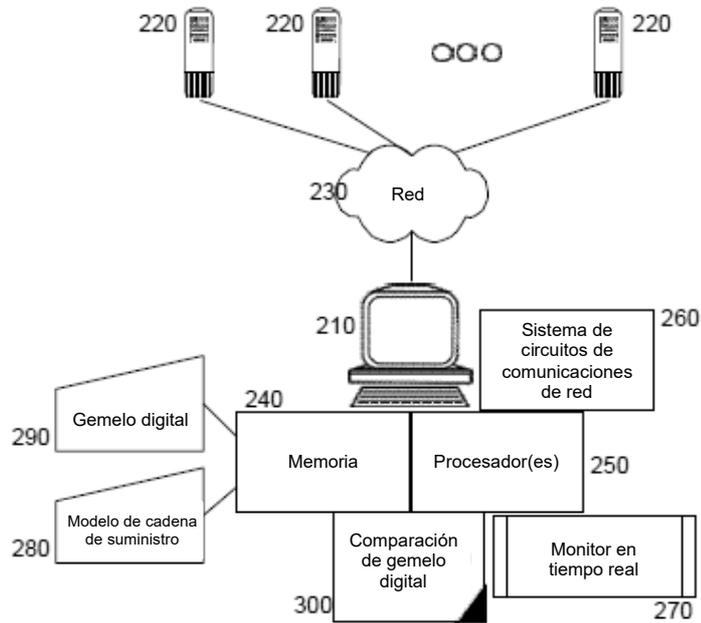


FIG. 2

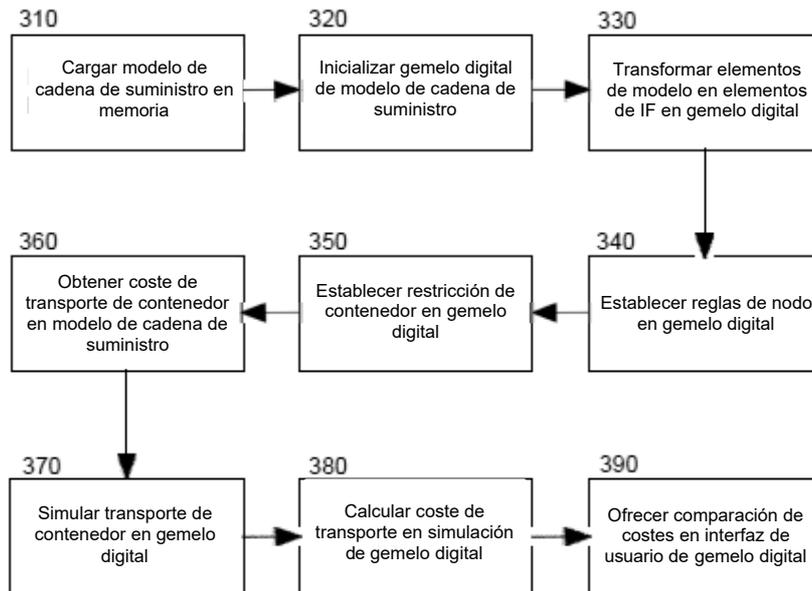


FIG. 3