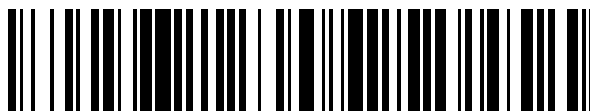


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 073 874**

51 Int. Cl.:

G06Q 10/04 (2013.01)

G06Q 10/00 (2006.01)

B65F 5/00 (2006.01)

G06Q 10/08 (2014.01)

G06Q 10/30 (2013.01)

G06Q 10/047 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2022** **E 22161570 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2026** **EP 4060574**

54 Título: **Método para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada**

30 Prioridad:

17.03.2021 EP 21382212

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

15.07.2026

73 Titular/es:

URBAN REFUSE DEVELOPMENT, SLU (50,00%)

PCITAL Gardeny Edifici H2 planta 2a

25003 Lleida, ES y

UNIVERSITAT DE LLEIDA (50,00%)

72 Inventor/es:

FARRÉ CABANILLAS, JOSEP ANTON;

FERNÁNDEZ CAMON, CÉSAR y

MATEU PIÑOL, CARLOS

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 3 073 874 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

Método para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada

5 Campo de la invención

La presente invención generalmente se refiere a métodos y sistemas de recogida de residuos. En particular, la invención se refiere a un método implementado por ordenador para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada.

10 Antecedentes de la invención

En general, una planta (o sistema/instalación) de recogida de residuos automatizada usa normalmente la succión de aire por medio de un sistema de vacío en una red cerrada de tuberías subterráneas, que cubre un área de unos pocos kilómetros cuadrados, para transportar los residuos desde puntos de entrega, que comprenden entradas, distribuidos por ejemplo en una parte o por toda la ciudad, hasta un punto de recogida central, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y los inconvenientes de los métodos convencionales (olores, ruidos, etc.), además de permitir una mejor reutilización y reciclaje de los residuos.

20 Desde un punto de vista de operación de las plantas, actualmente las plantas de recogida de residuos automatizadas son generalmente bastante ineficientes en cuanto a energía y en un nivel económico principalmente debido al hecho de que la recogida o retirada de residuos no está adaptada a los niveles de ocupación de las plantas ni a coste de la energía durante la recogida.

25 Asimismo, para permitir el modelado y control de una planta de recogida de residuos automatizada correctamente, se requiere un conocimiento preciso de las diferentes partes de dicha planta.

La aparición y evolución de técnicas de inteligencia artificial basadas en aprendizaje automático ha hecho posible abordar tal modelado y control.

30 Por ejemplo, la solicitud de patente EP2666737A1, que pertenece a los mismos inventores que la presente invención, proporciona un método para la retirada de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada donde se usan técnicas o algoritmos de aprendizaje automático para las operaciones de planificación de las plantas. El objetivo es lograr planes de operación óptimos, en cualquier momento, basándose en el estado actual de las diferentes partes de las plantas y en experiencias previas, que minimizan el consumo de energía sujeto a normas de calidad de servicio preestablecidas. Este método usa técnicas de aprendizaje automático y algoritmos de programación lineal para las operaciones de planificación de la planta de recogida de residuos automatizada; sin embargo esta solicitud de patente previa no dice nada sobre los diferentes modelos computerizados por la presente invención y sobre la provisión y entrenamiento de un agente virtual para evaluar el consumo de energía de una serie de acciones de una planta de recogida de residuos y para establecer políticas de toma de decisiones de control de vaciado para una planta de recogida de residuos real. Por tanto, aunque se ha probado que este método previo es eficiente, todavía hay margen para reducir el consumo de energía y, también el coste, implicado en la operación de estas plantas.

45 El documento KR20190113015A se refiere a un sistema de recogida automática de inteligencia artificial basado en una base de datos capaz de minimizar los costes de mantenimiento. Información tal como detección de un sensor de nivel, el número de aperturas de trampillas de entrada, y un pesado de un peso de residuo, se recoge en una entrada de basura, y se almacena en una base de datos, y se analiza para realizar de manera selectiva una recogida automática sólo desde una entrada que cumple unas condiciones determinadas. Este sistema ni incluye ni usa el citado agente virtual de la presente invención.

Por tanto, se requieren nuevos métodos para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada.

55 Descripción de la invención

Para este fin, las realizaciones de la presente invención proporcionan un método implementado por ordenador para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada. El método propuesto comprende almacenar, en una memoria o base de datos, información de operación de una pluralidad de plantas de recogida de residuos automatizadas reales, en el que la información de operación incluye al menos, para cada uno de varios de los ciclos de vaciado de cada planta real: el número de entradas (es decir, los contenedores/buzones donde se colocan/almacenan los residuos (es decir, desechos/basura)) de la planta que se vacían, la distancia desde las entradas vaciadas hasta un centro de recogida (o punto de recogida central), el tipo de residuo, el volumen del residuo, y el instante temporal en el que tiene lugar el ciclo de vaciado. Adicionalmente, un valor de energía correspondiente a la energía usada en el ciclo de vaciado correspondiente también se almacena en la memoria o base de datos.

El método también comprende generar/calcular, mediante una unidad de procesamiento, un modelo de uso de energía (es decir, un modelo del consumo de energía de los ciclos de vaciado de una o más entradas) de al menos una planta de recogida de residuos automatizada específica. Para ello, la unidad de procesamiento ejecuta un primer algoritmo de inteligencia artificial, que comprende una primera red neuronal, que, para cada ciclo de vaciado de la planta de recogida de residuos automatizada específica: a) calcula un valor de energía predicho usando como elementos de entrada la información de operación almacenada en la memoria o base de datos, b) compara el valor de energía predicho calculado con el valor de energía almacenado en la memoria o base de datos; y c) ajusta la primera red neuronal (es decir, ajusta su valores/parámetros de peso) si la comparación es diferente; donde las etapas a) a c) se repiten hasta que un resultado de comparación es inferior o igual que un umbral de error dado.

El método también comprende entrenar, mediante una unidad de procesamiento, un agente virtual por medio de ejecutar un segundo algoritmo de inteligencia artificial que comprende una segunda red neuronal. La segunda red neuronal evalúa el consumo de energía de una serie de acciones de la planta de recogida de residuos automatizada específica (o de cualquier otra planta de recogida de residuos automatizada), en respuesta a una pluralidad de situaciones de carga de residuos/ocupación en las entradas, por medio de: i) seleccionar, dado un estado de carga de la planta de recogida de residuos automatizada específica/otra planta de recogida de residuos automatizada considerada, una acción dada a realizar; ii) evaluar un coste de dicha acción dada usando el modelo de uso de energía generado; y iii) minimizar el coste por medio de ajustar la segunda red neuronal (es decir, ajustar los valores/parámetros de peso de los mismos). Las etapas i) a iii) se repiten hasta que el coste es inferior o igual que un umbral dado o durante un número limitado de repeticiones.

El método también comprende recibir, por el agente virtual, en tiempo real, información relacionada con un estado de carga/capacidad de las entradas de una planta de recogida de residuos automatizada real, y establecer, por el agente virtual, una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado de la planta de recogida de residuos automatizada real basándose en la información recibida y en acciones consideradas óptimas durante el entrenamiento. Por último, la planta de recogida de residuos automatizada real se opera según la(s) política/políticas de toma de decisiones de control de vaciado mencionada(s) establecida(s) por el agente virtual.

En una realización, el método calcula además un modelo de duración temporal del tiempo que dura cada ciclo de vaciado, particularmente por medio de ejecutar un tercer algoritmo de inteligencia artificial, que comprende una tercera red neuronal, en al menos parte de la información de operación almacenada en la memoria o base de datos.

La primera y tercera redes neuronales comprenden particularmente una red neuronal basada en aprendizaje profundo. Asimismo, la segunda red neuronal comprende una red neuronal basada en aprendizaje profundo reforzado.

En algunas realizaciones particulares, las diferentes redes neuronales comprenden una prealimentada profunda (*Deep Feed Forward*, DFF). Sin embargo, las características de la invención pueden implementarse a través de otras redes neuronales.

En una realización, la etapa de operación se realiza mediante un dispositivo controlador conectado operativamente a cada una de las entradas de la planta de recogida de residuos real, después de haber recibido la decisión de control del agente virtual.

En una realización, antes de la etapa de operación de la planta de recogida de residuos real según la(s) política/políticas de toma de decisiones de control de vaciado mencionada(s) establecida(s) por el agente virtual, se verifica a partir de información relacionada con el estado de carga de las entradas de la planta de recogida de residuos real si la(s) política/políticas de toma de decisiones de control de vaciado adoptada(s) es/son factor(es) determinante(s) de una optimización de consumo de energía real.

Según el método propuesto, la(s) política/políticas de toma de decisiones de control de vaciado mencionada(s) puede(n) comprender vaciar una o más de las entradas de la planta de recogida de residuos real; activar o desactivar sistemas de vaciado basados en vacío para vaciar las entradas; y/o aumentar o reducir la velocidad de sistemas de vaciado basados en vacío para vaciar las entradas, entre otros.

La planta de recogida de residuos específica puede comprender una única planta de recogida de residuos, o alternativamente una planta de recogida de residuos virtual que compila información de operación de una pluralidad de plantas de recogida de residuos reales.

Otras realizaciones de la invención dadas a conocer en el presente documento también incluyen productos de programas informáticos para realizar las etapas y operaciones realizadas mediante el método propuesto. Más particularmente, un producto de programa informático es una realización que tiene un medio legible por ordenador que incluye instrucciones de código codificadas en el mismo que, cuando se ejecuta en al menos un procesador del sistema informático, hace que el procesador realice las operaciones indicadas en el presente documento como realizaciones de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras características y ventajas se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones simplemente ilustrativa y no limitativa en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada, según una realización de la presente invención.

La figura 2 ilustra esquemáticamente la arquitectura de un sistema para el control inteligente de recogida de residuos, según una realización de la presente invención.

La figura 3 ilustra esquemáticamente la arquitectura usada para operar el agente virtual.

Descripción detallada de la invención

Con referencia a las figuras 1 y 2, una realización del método propuesto se muestra en las mismas. Según esta realización, en la etapa 101 (o fase 0), el método comprende generar un modelo de uso de energía (o primer modelo de predicción) de una planta de recogida de residuos automatizada específica (o simplemente planta de recogida), por ejemplo, una planta de recogida de residuos específica o una planta de recogida de residuos ficticia programada/configurada para adquirir información de operación de una serie de plantas de recogida de residuos reales.

Particularmente, el modelo de uso de energía se genera mediante una unidad de procesamiento que predice el consumo de energía de los ciclos de vaciado de las entradas (es decir, operación de puesta en funcionamiento de alta velocidad, más el vaciado de una serie de entradas, más el transporte hasta el punto de recogida central) por medio de implementar/ejecutar un primer algoritmo de inteligencia artificial, por ejemplo, una red neuronal basada en aprendizaje profundo, usando al menos parte de la información de operación de una pluralidad de plantas de recogida reales que se almacena en una memoria o base de datos.

La información de operación comprende datos reales/verdaderos de cada uno de los ciclos de vaciado de cada planta de recogida real, por ejemplo: el número de entradas de la planta de recogida que van a vaciarse, la distancia desde las entradas vaciadas hasta un centro de recogida, el tipo de residuo, el volumen del residuo, el instante temporal en el que tiene lugar el ciclo de vaciado, etc.

La memoria o base de datos también almacena un valor de energía correspondiente a la energía usada en el ciclo de vaciado.

Particularmente, la primera red neuronal basada en aprendizaje profundo, para cada ciclo de vaciado de la planta de recogida considerada, a) calcula un valor de energía predicho usando como elemento de entrada (parte de o la totalidad de) la información de operación almacenada en la memoria o base de datos; b) compara el valor predicho calculado con el valor de energía almacenado; y c) ajusta la primera red neuronal basada en aprendizaje profundo hasta que el resultado de comparación es inferior o igual que un umbral de error dado.

Continuando con la explicación de la figura 1, una vez que se ha generado el modelo de uso de energía capaz de indicar el consumo de energía de un ciclo de vaciado, en la etapa 102 (o fase 1), el método comprende entrenar un agente virtual (es decir, software) por medio de implementar un segundo algoritmo de inteligencia artificial. El segundo algoritmo comprende particularmente una red neuronal basada en aprendizaje reforzado o una red neuronal basada en aprendizaje profundo reforzado que se entrena durante un número especificado de episodios/repeticiones o hasta que el coste alcance un umbral especificado. La red neuronal entrenada se usará como agente de políticas para las siguientes etapas, tal como se explicó anteriormente.

En la etapa 103 (o fase 2), el agente virtual entrenado previamente recibe, en tiempo real, información relacionada con un estado de carga/capacidad de las entradas de una planta de recogida real (es decir, una planta de recogida que va a controlarse) y establece una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado de dicha planta real teniendo en cuenta la información recibida y acciones consideradas óptimas durante el entrenamiento. En una realización, se recibe información relacionada con el estado de carga de las entradas de la planta de recogida real, particularmente, a través de un dispositivo 10 controlador, tal como un PLC, instalado en la planta de recogida real y conectado operativamente a cada una de las entradas de la planta de recogida real.

En último lugar, en la etapa 104 (o fase 3), el método comprende operar la planta de recogida real según la una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado mencionadas establecidas por el agente virtual. En particular, esta etapa de operación final también se realiza mediante el dispositivo 10 controlador. En cualquier caso, cabe señalar que, en otras realizaciones, la etapa de operación podría realizarse mediante un ordenador o PC, entre otros sistemas de computación.

Asimismo, particularmente, la etapa 104 se realiza una vez que ha pasado un intervalo de tiempo suficiente en el

que el agente virtual no ha establecido ninguna política de toma de decisiones de control incorrecta.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se ilustra en la misma una realización de cómo se opera el agente virtual. En esta realización, el entrenamiento que recibe el agente virtual se realiza particularmente considerando 1) una planta simulada, que puede ser una planta de recogida genérica que no existe o una planta de recogida específica que existe, y 2) una secuencia de estados de carga/ocupación de tal planta de recogida (es decir, una secuencia temporal de descargas de residuos de usuario en las entradas de la planta simulada). Luego, usando una planta simulada de este tipo, en primer lugar, el segundo algoritmo de inteligencia artificial, durante un número dado de episodios/repeticiones N o hasta la recompensa/coste de la simulación de las acciones alcanza un umbral decidido, reinicia la simulación y pone a cero una recompensa/coste verdaderos. Luego, durante un número dado de franjas de tiempo T:

- obtiene el estado de carga de la planta simulada (teniendo en cuenta un estado de carga previo y las descargas de residuos de usuario del escenario simulado);
- selecciona la acción más adecuada (es decir, la óptima) de la política, dada por el agente virtual, o una acción al azar con probabilidad E;
- simula el efecto de la acción seleccionada en la planta simulada (es decir, determinar el estado de dicha planta);

El coste de la acción es el coste económico del uso de energía de esa acción tal como se proporciona mediante el modelo de uso de energía de la etapa 101 y puede alterarse mediante otros factores programados (por ejemplo, multas por no vaciar las entradas, etc.) o mediante disponibilidad de generación de energía solar o precio de la energía;

- añadir el coste al coste de simulación;
- guardar el estado, acción, y coste que van a usarse posteriormente.
- (Si se usa) disminuye la probabilidad E de elegir acciones al azar.

Finalmente, particularmente de manera periódica, la totalidad o algunos del estado, acción, tuplas de costes guardados se usan como política.

En la presente invención, el dispositivo 10 controlador y el agente virtual pueden operar en paralelo. Dicho de otro modo, mientras que el dispositivo 10 controlador opera la planta de recogida real, el agente virtual recibe simultáneamente información sobre el estado de las entradas y toma las decisiones correspondientes. El agente virtual mejora de ese modo continuamente a lo largo de todo el tiempo de operación de la planta de recogida real.

En una realización, estas decisiones no se tienen en cuenta directamente por el dispositivo 10 controlador, sino más bien dichas decisiones se envían previamente a un sistema 20 de monitorización y telemetría para su validación. En otros ejemplos, el dispositivo 10 controlador recibe las decisiones directamente desde el agente virtual. En cualquier caso, el agente virtual puede actuar como supervisor para evitar acciones de operación erróneas en la planta de recogida real.

En algunas realizaciones, los cálculos también comprenden implementar un tercer algoritmo de inteligencia artificial, por ejemplo, una red neuronal basada en aprendizaje profundo, en al menos parte de la información de operación almacenada en la memoria o base de datos para calcular un modelo de duración temporal (o segundo modelo de predicción) del tiempo que tarda cada ciclo de vaciado. De ese modo, se tienen en cuenta variables adicionales, tales como el precio de la energía (basándose en el tiempo), los datos temporales (día de la semana, etc.), predicción del tiempo si se usa energía solar en la planta de recogida, etc., lo que permite incluso optimizar adicionalmente el modelo simulado.

Por tanto, en la presente invención el agente virtual está configurado para observar una o más plantas de recogida reales que van a controlarse, así como su entorno (por ejemplo, el coste de energía, el momento del día en el que tiene lugar la recogida de residuos, etc.), de tal manera que el agente virtual puede establecer/proporcionar las diferentes políticas de control de toma de decisiones y realizar acciones que afectan al entorno de la(s) planta(s) de recogida mencionada(s), por ejemplo, establecer secuencias de vaciado, activar o desactivar sistemas de vaciado basados en vacío para vaciar las entradas, aumentar o reducir la velocidad de los sistemas de vaciado basados en vacío, etc. El agente virtual está configurado para realizar las acciones anteriores centenas o miles de veces teniendo en cuenta diferentes escenarios.

La invención propuesta puede implementarse en hardware, software, firmware, o cualquier combinación de los mismos. Si se implementa en software, las funciones pueden almacenarse o codificarse como una o más instrucciones de código en un medio legible por ordenador.

El alcance de la presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método para el control inteligente de recogida de residuos en una planta de recogida de residuos automatizada, que comprende:

almacenar información de operación de una pluralidad de plantas de recogida de residuos automatizadas reales en una memoria o base de datos, en el que la información de operación incluye, para cada uno de varios ciclos de vaciado de cada planta: número de entradas de la planta que van a vaciarse, distancia desde las entradas vaciadas hasta un centro de recogida, tipo de residuo, volumen del residuo, e instante temporal en el que tiene lugar el ciclo de vaciado, y además almacenar un valor de energía correspondiente a la energía usada en el ciclo de vaciado correspondiente en la memoria o base de datos;

generar, mediante una unidad de procesamiento, un modelo de uso de energía de una planta de recogida de residuos automatizada específica ejecutando un primer algoritmo de inteligencia artificial que comprende una primera red neuronal, comprendiendo la primera red neuronal, para cada ciclo de vaciado de la planta de recogida de residuos automatizada específica:

a) calcular un valor de energía predicho usando como elementos de entrada la información de operación almacenada en la memoria o base de datos,

b) comparar el valor de energía predicho calculado con el valor de energía almacenado en la memoria o base de datos; y

c) ajustar las asociaciones ponderadas de la primera red neuronal si la comparación proporciona un resultado diferente; y

repitiéndose las etapas a) a c) hasta que un resultado de comparación es inferior o igual que un umbral de error dado;

entrenar, mediante una unidad de procesamiento, un agente virtual por medio de ejecutar un segundo algoritmo de inteligencia artificial que comprende una segunda red neuronal, evaluando la segunda red neuronal el consumo de energía de una serie de acciones de la planta de recogida de residuos automatizada específica o de otra planta de recogida de residuos automatizada, en respuesta a una pluralidad de situaciones de carga de residuos en las entradas, por medio de:

i) seleccionar, dado un estado de carga de la planta de recogida de residuos automatizada específica/otra planta de recogida de residuos automatizada, una acción dada a realizar;

ii) evaluar un coste de dicha acción dada usando el modelo de uso de energía generado;

iii) minimizar el coste por medio de ajustar las asociaciones ponderadas de la segunda red neuronal;

repitiéndose las etapas i) a iii) hasta que el coste es inferior o igual que un umbral dado o durante un número limitado de repeticiones;

recibir, por el agente virtual, en tiempo real, información relacionada con un estado de carga de las entradas de una planta de recogida de residuos automatizada real, y establecer, por el agente virtual, una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado de la planta de recogida de residuos automatizada real basándose en la información recibida y en acciones consideradas óptimas durante el entrenamiento del agente virtual; y

operar la planta de recogida de residuos automatizada real según dicha una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado establecidas por el agente virtual.

2. Método según la reivindicación 1, que comprende además calcular un modelo de duración temporal del tiempo que tarda cada ciclo de vaciado por medio de la ejecución de un tercer algoritmo de inteligencia artificial, que comprende una tercera red neuronal, en al menos parte de la información de operación almacenada en la memoria o base de datos.

3. Método según la reivindicación 1, en el que la primera red neuronal comprende una red neuronal basada en aprendizaje profundo.

4. Método según la reivindicación 2, en el que la tercera red neuronal comprende una red neuronal basada en aprendizaje profundo.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda red neuronal comprende una red neuronal basada en aprendizaje profundo reforzado.

- 5 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de operación se realiza mediante un dispositivo controlador, conectado operativamente a cada una de las entradas de la planta de recogida de residuos automatizada real, después de haber recibido la decisión de control del agente virtual.
- 10 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, antes de la etapa de operación de la planta de recogida de residuos automatizada real según dicha una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado establecidas por el agente virtual, verificar, mediante una unidad de procesamiento, a partir de información relacionada con el estado de carga de las entradas de la planta de recogida de residuos automatizada real si las políticas de toma de decisiones de control de vaciado adoptadas son factores determinantes de una optimización de consumo de energía real.
- 15 8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha una o más políticas de toma de decisiones de control de vaciado comprenden al menos uno de: vaciar una o más de las entradas de la planta de recogida de residuos automatizada real; activar o desactivar sistemas de vaciado basados en vacío para vaciar las entradas; y/o aumentar o reducir la velocidad de los sistemas de vaciado basados en vacío para vaciar las entradas.
- 20 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la planta de recogida de residuos automatizada específica comprende una planta de recogida de residuos automatizada virtual que compila información de operación de una pluralidad de plantas de recogida de residuos reales.
10. Producto de programa informático que incluye instrucciones de código que, cuando se implementan en un sistema informático, implementan un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

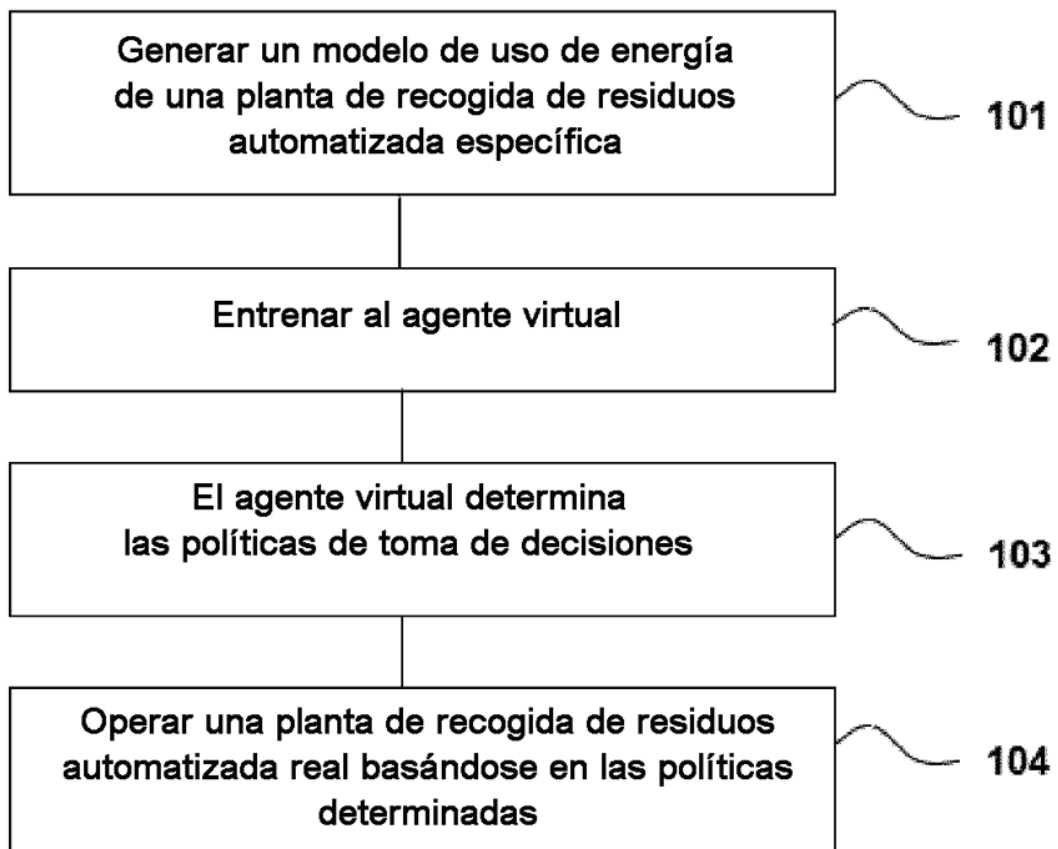


Fig. 1

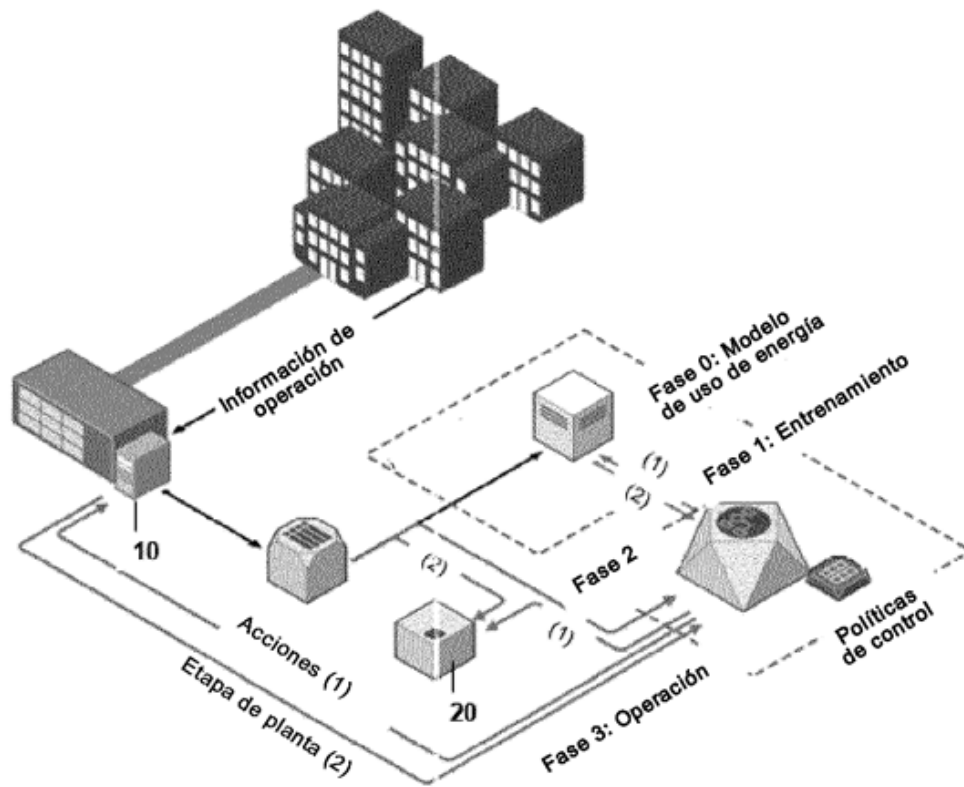


Fig. 2

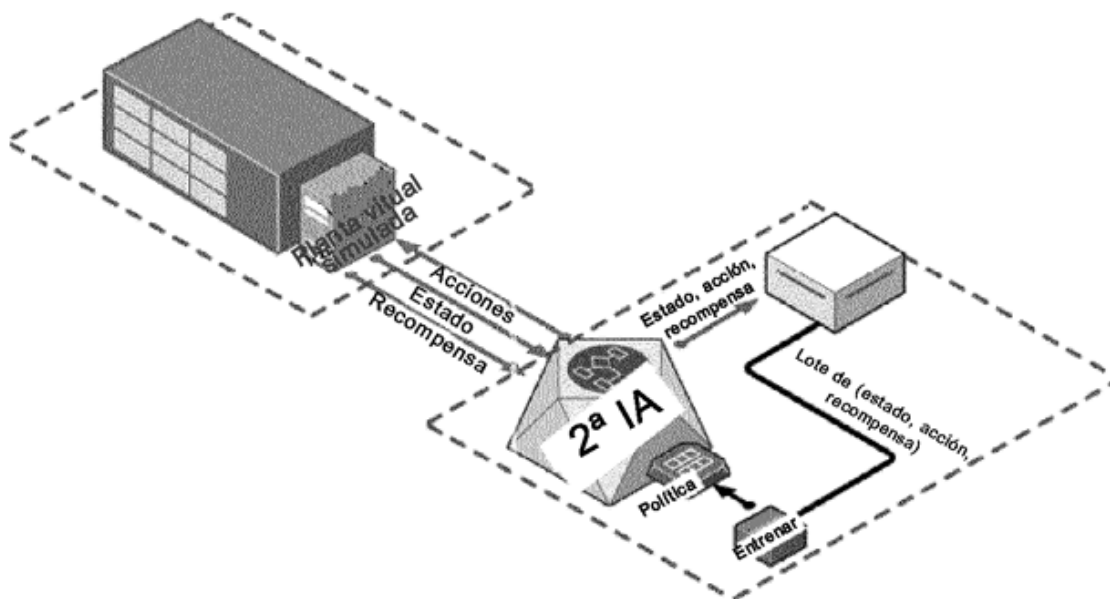


Fig. 3