

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 376**

51 Int. Cl.:

H04L 29/12 (2006.01)

G06F 9/455 (2008.01)

H04L 12/721 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2014 PCT/IB2014/060410**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2014 WO14162291**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2014 E 14719871 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2982097**

54 Título: **Método y aparato para el intercambio de paquetes de IP entre pares de capa 2 de la red**

30 Prioridad:

04.04.2013 US 201313856971

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

16.03.2020

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**KRISHNAN, SURESH y
LEFEBVRE, GEOFFREY**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 748 376 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 y aparato para el intercambio de paquetes de IP entre pares de capa 2 de la red

Campo técnico

5 La presente invención, hace referencia, en general, a redes de datos, y, concretamente, hace referencia al intercambio de paquetes de IP entre pares de L2 en dichas redes.

Antecedentes

10 La emergencia del cálculo en la nube ha resultado en el diseño y construcción de grandes centros de datos en los que múltiples huéspedes están migrando aplicaciones complejas que alguna vez estuvieron alojadas en redes empresariales privadas. Uno de los habilitadores más importantes para esta migración es la virtualización del sistema, que permite que múltiples servidores, potencialmente pertenecientes a diferentes huéspedes, se alojen en el mismo ordenador principal físico. Estos servidores, contenidos en máquinas virtuales o VM (Virtual Machines, en inglés), pueden ser migrados de manera transparente entre ordenadores principales físicos sin ninguna interrupción perceptible, lo que proporciona flexibilidad y elasticidad a los operadores de la nube. Para maximizar esta flexibilidad, un operador debe poder migrar una VM entre diferentes enlaces en los centros de datos sin estar restringido por la topología de las interconexiones.

15 Adicionalmente, los huéspedes desean, habitualmente, gestionar sus propias redes utilizando sus propios planes de direccionamiento y rangos, lo que facilita la migración desde su centro de datos privado a la nube. Cualquier solución de virtualización de la red debe proporcionar aislamiento en el nivel de direccionamiento entre diferentes redes virtuales y, al mismo tiempo, mantener la capacidad de reenviar el tráfico entre las subredes individuales que pertenecen al mismo huésped.

20 La mayoría de las soluciones existentes de virtualización de la red cumplen estos requisitos mediante la creación de capas superpuestas, ya sea la capa 2 (L2 – Layer 2, en inglés) o la capa 3 (L3), en la parte superior de una red física. Las soluciones de L2, tales como la interconexión por el camino más corto (SPB – Shortest Path Bridging, en inglés) y la interconexión transparente de muchos enlaces (TRILL – Transparent Interconnection of Lots of Links, en inglés) encapsulan el tráfico de los huéspedes en túneles de L2 exterior (un encabezado de MAC más un encabezado adicional). Las soluciones de L2 están limitadas a un solo dominio de L2, aunque este dominio puede ser bastante grande, debido a la utilización de un protocolo de encaminamiento entre conmutadores, en lugar de estar basadas en el aprendizaje y la inundación para rellenar las tablas de reenvío. Las soluciones de L3, tales como VxLAN y virtualización de red mediante encapsulación de encaminamiento genérico (NVGRE – Network Virtualization using Generic Routing Encapsulation, en inglés), utilizan túneles basados en IP. Las soluciones de L3 no adolecen de las limitaciones de escalabilidad asociadas con las soluciones basadas en L2, pero imponen una sobrecarga adicional debido al mayor tamaño de los encabezados de encapsulación.

30 Aunque las soluciones mencionadas anteriormente permiten la creación de redes virtuales aisladas por huésped, estas redes son dominios de L2 únicos, planos, es decir, una subred de IP. Dichas soluciones no resuelven la necesidad de que los huéspedes subdividan su red virtual en diferentes subredes y el problema del encaminamiento entre diferentes subredes virtuales que pertenecen al mismo huésped.

35 El encaminamiento entre diferentes subredes en una red virtualizada se puede manejar utilizando un encaminador de red virtual en una puerta de enlace de L3 dentro del centro de datos. No obstante, esta solución requiere una capacidad de encaminamiento importante en la puerta de enlace de L3; una estimación conservadora es que en, este caso, cuatro veces el tráfico fluye a través del encaminador. La figura 1 ilustra las comunicaciones entre VM que utilizan el encaminamiento de puerta de enlace de L3.

40 Se ve una red 10 del centro de datos que tiene conmutadores de L2 12 y encaminadores de L3 14 en la puerta de enlace de L3. Los servidores 16 alojan cualquier cantidad de máquinas virtuales, estando ilustradas VM1 a VM4 a modo de ejemplo. VM1 y VM4 funcionan en una comunicación de subred a través de los respectivos de los conmutadores de L2 12. Lo mismo es cierto para VM2 y VM3, que funcionan en otra subred. No obstante, debido a que las comunicaciones entre VM1 y VM3 involucran a diferentes subredes, las comunicaciones entre VM1 y VM3 son encaminadas a través de la puerta de enlace de L3, a través de los respectivos encaminadores de L3 14.

45 La figura 2 ilustra otro enfoque conocido que implica designar ciertas máquinas virtuales como encaminadores basados en software y puertas de enlace predeterminadas para las subredes de la red virtual a las que están conectadas. Se ve un encaminador de software “R” implementado en uno de los servidores 16 de acuerdo con dicha configuración. Si bien este enfoque reduce el coste, también introduce puntos de estrangulamiento en la red, porque el tráfico entre subredes está limitado por el enlace proporcionado a una sola VM.

50 Anónimo: “Understanding PBB - Knowledge Base”, 1 de enero de 2012, páginas 1 a 4, XP055128103 describe detalles sobre el estándar de Interconexión de Red Troncal del Proveedor (PBB – Provider Backbone Bridging, en inglés) (IEEE 802.1ah), que se desarrolló para resolver las limitaciones de las interconexiones entre proveedores (Estándar IEEE 802.1ad), y proporciona una revisión rápida de la tecnología 802.1ad o Q-in-Q.

Stevens, W. Richard: "TCP/IP illustrated", julio de 1999, Addison-Wesley, XP001091096, vol. 1, páginas 6 a 11, 21 a 23 da a conocer detalles sobre el estándar TCP/IP y, en concreto, sobre la encapsulación (encapsulación de Ethernet y de acuerdo con el estándar IEEE 802).

Compendio

5 En un aspecto, las explicaciones del presente documento proporcionan comunicación de punto a punto entre todas las máquinas virtuales (VM) que pertenecen al mismo huésped en un entorno de red virtual basado en la nube sin utilizar ninguna función de encaminamiento intermedio a la vez que proporciona una virtualización completa en L2 y L3. Es decir, el enfoque conserva espacios de direcciones completamente aislados para cada huésped en L2 y L3 y soporta múltiples subredes para cada huésped, y, por lo tanto, permite a los huéspedes definir sus propias redes virtuales sin requerir la adición de un encaminamiento centralizado costoso y sin requerir comunicaciones entre subredes para que el mismo huésped recorra rutas por debajo del óptimo, tal como sucede con los encaminadores basados en software implementados en una de las máquinas virtuales que pertenecen al huésped. Además, los métodos y aparatos que se explican en el presente documento proporcionan una solución distribuida para comunicarse entre subredes que pertenecen a la misma red virtual o lógica, evitando de este modo problemas de un solo punto de fallo y ofreciendo una mejor escalabilidad.

10 En una realización a modo de ejemplo, un método de intercambio de paquetes de IP entre diferentes subredes comprende recibir un paquete de IP desde un primer ordenador principal, por ejemplo, una primera VM, en una primera subred de una red lógica que tiene diferentes subredes con una conexión de L2 entre las mismas. El paquete de IP es recibido en una primera puerta de enlace de L2 en la primera subred y el método incluye la determinación por parte de la puerta de enlace de que el paquete de IP se dirige a un segundo ordenador principal en una segunda subred dentro de la misma red lógica.

20 El método incluye, además, obtener una dirección física para una segunda puerta de enlace de L2 en la segunda subred, y una dirección física para el segundo ordenador principal, e incluye, además, la modificación del paquete de IP en la primera puerta de enlace de L2 para obtener un paquete de IP modificado. Las modificaciones de paquetes incluyen cambiar una dirección física de origen en el paquete de IP de una dirección física del primer ordenador principal a la dirección física obtenida para la segunda puerta de enlace de L2, y cambiar la dirección física de destino de una dirección física de la primera puerta de enlace de L2 a la dirección física obtenida para el segundo ordenador principal. El método continúa con la generación de una unidad de datos de protocolo (PDU – Protocol Data Unit, en inglés) de L2 en la puerta de enlace de L2 y el envío de la PDU en la conexión de L2, para su recepción en la segunda puerta de enlace de L2. La PDU comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen correspondiente a la primera puerta de enlace de L2, una dirección física de destino correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2, un identificador de organización (OM – Organizational Identifier, en inglés) para la red lógica y una carga útil que comprende el paquete de IP modificado.

25 En un caso a modo de ejemplo, los primer y segundo ordenadores principales son primera y segunda máquinas virtuales (VM), las primera y segunda subredes son primera y segunda subredes virtuales, y la red lógica comprende una red virtual que incluye las primera y segunda subredes virtuales. Además, en el caso a modo de ejemplo, la primera puerta de enlace de L2 está implementada en un primer hipervisor que virtualiza la primera máquina virtual y se ejecuta en un primer ordenador principal físico. De manera similar, la segunda puerta de enlace de L2 comprende un segundo hipervisor que virtualiza la segunda VM y se ejecuta en un segundo ordenador principal físico.

30 En este contexto, un "hipervisor" es un software, firmware y/o hardware informático que crea, ejecuta y supervisa las VM, que se pueden denominar, asimismo, "máquinas invitadas". Como apreciarán los expertos en la técnica, el hipervisor virtualiza una o más máquinas virtuales o máquinas invitadas sobre los mismos recursos de hardware / software, y gestiona el intercambio de recursos entre las máquinas virtuales de manera transparente para las máquinas virtuales. Es decir, cada VM parece tener un procesamiento de ordenador principal y recursos de memoria para sí misma.

35 El método anterior puede incluir, asimismo, las operaciones complementarias del lado de recepción realizadas en la segunda puerta de enlace de L2. En un ejemplo, el método incluye, además, recibir la PDU en la segunda puerta de enlace de L2, extraer el paquete de IP modificado de la PDU y reenviar el paquete de IP modificado al segundo ordenador principal, de acuerdo con la dirección física de destino incluida en el paquete de IP modificado. Ventajosamente, los aspectos del lado de recepción del método para la segunda puerta de enlace de L2 que utiliza el OID se incluyen en la PDU para eliminar la ambigüedad en la dirección física de destino incluida en el paquete de IP modificado. Es decir, el OID actúa como "identificador de huésped" en cierto sentido, para facilitar las comunicaciones entre subredes entre diferentes subredes que pertenecen al mismo huésped u organización.

40 El método anterior se implementa, por ejemplo, en una puerta de enlace de L2 que comprende primera y segunda interfaces y un circuito de procesamiento asociado operativamente con las mismas. La primera interfaz está configurada para comunicaciones de datos en una primera subred de una red lógica que tiene diferentes subredes con una conexión de L2 entre las mismas, y la segunda interfaz está configurada para comunicaciones de datos a través de la conexión de L2 con una segunda puerta de enlace de L2 en una segunda subred de la red lógica. El circuito de procesamiento está configurado, por ejemplo, en base a la ejecución de instrucciones de programas

informáticos almacenados en la memoria o en otro medio legible por ordenador, para llevar a cabo el lado de envío y/o recepción del método a modo de ejemplo descrito anteriormente. En, al menos, una realización, la puerta de enlace de L2 contemplada comprende una entidad funcional dentro de un ordenador principal físico, es decir, la puerta de enlace de L2 está realizada en los recursos de procesamiento y memoria del ordenador principal físico.

- 5 Por supuesto, la presente invención no está limitada a las características y ventajas anteriores. De hecho, los expertos en la materia reconocerán características y ventajas adicionales tras la lectura de la siguiente descripción detallada, y tras ver los dibujos adjuntos.

La invención está definida únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 10 Las figuras 1 y 2 son diagramas de topologías de red conocidas y de encaminamiento basado en la capa 3 (L3) entre diferentes subredes.

La figura 3 es un diagrama de una realización de intercambios de paquetes entre subredes basados en L2, de acuerdo con las explicaciones del presente documento.

- 15 La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de redes lógicas y de las subredes conectadas a través de L2 correspondientes.

La figura 5 es un diagrama de bloques de una realización de ordenadores principales físicos que implementan hipervisores que tienen puertas de enlace de L2 de acuerdo con las explicaciones del presente documento.

La figura 6A es un diagrama de flujo lógico de una realización de un método de procesamiento en una puerta de enlace de L2.

- 20 La figura 6B es un diagrama de flujo lógico de una realización de otro método de procesamiento en una puerta de enlace de L2.

La figura 7 es un diagrama de una estructura de datos para un servicio de directorio distribuido utilizado en algunas realizaciones de los intercambios de paquetes basados en L2 que se explican en el presente documento.

Descripción detallada

- 25 La figura 3 ilustra una red global 20 que incluye conmutadores de L2 12, encaminadores de L3 14 en una puerta de enlace de L3 y varios servidores 22 que alojan cualquier número de máquinas virtuales o VM 18. Uno o más de los servidores 22 están configurados de acuerdo con las explicaciones del presente documento, por ejemplo, uno o más de los mismos implementan un hipervisor que incluye la ventajosa entidad de puerta de enlace de L2 descrita a modo de ejemplo en el presente documento. Aunque dichas entidades de puerta de enlace de L2 no se muestran explícitamente en el diagrama, se ve que proporcionan un intercambio eficiente de comunicaciones entre las VM 18 que se encuentran en diferentes subredes de la misma red lógica. De esta manera, dichas comunicaciones fluyen, por ejemplo, entre VM1 y VM3, en el nivel de L2, a pesar de que esas VM 18 funcionan en subredes diferentes.

- 30 La disposición se ve más fácilmente en la figura 4, que proporciona una ilustración simplificada de una red lógica 30, por ejemplo, una red virtual implementada en un sistema basado en la nube que proporciona virtualización de red para un número potencialmente grande de huéspedes u organizaciones. La red lógica 30 (en adelante "red 30") incluye varias subredes diferentes, mostradas como subredes 32-1, 32-2 y 32-3 en el ejemplo ilustrado. Las diferentes subredes 32 están interconectadas mediante una conexión de L2 34, que en realidad puede comprender múltiples conexiones o enlaces de L2, y que puede implicar más de un conmutador de L2.

- 35 La figura 5 proporciona más detalles sobre la implementación a modo de ejemplo presentada en el presente documento para su explicación. En el diagrama, se ven los primer y segundo ordenadores principales físicos 40-1 y 40-2. Se puede comprender que cada ordenador principal físico 40 es uno de los servidores 22 que se muestran en la figura 3. Además, cada ordenador principal físico 40 incluye una CPU 42 y una memoria 44, en las que se realizan múltiples entidades o estructuras de procesamiento funcionales, incluido un sistema operativo (OS – Operating System, en inglés) 46 del ordenador principal físico y un hipervisor 48 y puerta de enlace de L2 50 asociados. La puerta de enlace de L2 50 en cada ordenador principal físico 40 incluye un circuito de procesamiento 52. Cuando es necesario por claridad de la explicación, se hace referencia a la puerta de enlace de L2 50 en el primer ordenador principal físico 40-1 como la puerta de enlace de L2 50-1, y la puerta de enlace de L2 50 en el segundo ordenador principal físico 40-2 se conoce como la puerta de enlace de L2 50-2

- 40 Cuando no se necesitan sufijos para mayor claridad, no se utilizan, y se debe comprender que los designadores de referencia con sufijo se pueden utilizar tanto para referencias singulares como plurales en el presente documento, tal como "puerta de enlace de L2 50", en el caso singular y "puertas de enlace de L2 50", en el caso plural, y así sucesivamente. Además, se apreciará que estas y otras entidades o componentes ilustrados en los ordenadores principales físicos 40 están realizadas de manera funcional en las respectivas CPU 42 / memorias 44 del ordenador principal (que pueden contener, en un sentido amplio, dispositivos volátiles y no volátiles. y pueden incluir un disco u

otro almacenamiento) de acuerdo, al menos en parte, con la ejecución de instrucciones almacenadas de programas informáticos, por ejemplo, el OS del ordenador principal y programas y rutinas de nivel inferior, y sistemas operativos adicionales y/o programas adicionales que constituyen los ordenadores principales 54 mostrados en el diagrama.

5 Los ordenadores principales 54 comprenden VM o máquinas invitadas que funcionan en el entorno de virtualización proporcionado por el hipervisor 48 respectivo. En el ejemplo ilustrado, el hipervisor 48 en el ordenador principal físico 40-1 proporciona virtualización para varios ordenadores principales 54, y el hipervisor 48 en el ordenador principal físico 40-2 proporciona virtualización para varios ordenadores principales 54 adicionales. Los ordenadores principales 54 realizados en el ordenador principal físico 40-2 funcionan en una subred diferente en comparación con los ordenadores principales 54 realizados en el ordenador principal físico 40-1, aunque para los propósitos de esta explicación, se supone que todos los ordenadores principales 54 ilustrados en la figura 5 pertenecen al mismo huésped u organización.

10 Para facilitar la explicación, uno de los ordenadores principales 54 en el ordenador principal físico 40-1 se identifica concretamente como ordenador principal 54-1 y, del mismo modo, uno de los ordenadores principales 54 en el ordenador principal físico 40-2 se identifica concretamente como huésped 54-2. Esta numeración proporciona una base conveniente para hacer referencia a las comunicaciones tal como se explican en el presente documento para dos ordenadores principales 54 que están realizados en diferentes ordenadores principales físicos 40 y que funcionan en diferentes subredes 32 de la misma red lógica 30.

15 La figura 6A ilustra un método 600 de intercambio de paquetes de IP entre diferentes subredes y está implementado, por ejemplo, a través de la puerta de enlace de L2 50-1 asociada con el hipervisor 48 en el ordenador principal físico 40-1. Haciendo referencia a la figura 6A y las figuras 4 y 5, el método 600 incluye recibir (bloque 602) un paquete de IP de un primer ordenador principal 54-1 en una primera subred 32-1 de una red lógica 30 que tiene diferentes subredes 32 con una conexión de L2 34 entre las mismas. El paquete de IP es recibido en la primera puerta de enlace de L2 50-1 en la primera subred 32-1.

20 El método 600 incluye, además, determinar (bloque 604) en la primera puerta de enlace de L2 50-1 que el paquete de IP está dirigido a un segundo ordenador principal 54-2 en una segunda subred 32-2 dentro de la misma red lógica 30 y obtener (bloque 606) en la primera puerta de enlace de L2 50-1 una dirección física para una segunda puerta de enlace de L2 50-2 dentro de la segunda subred 32-2, y una dirección física para el segundo ordenador principal 54-2. Como ejemplo para el procesamiento del bloque 606, se envía una consulta de servicio de directorio a la dirección de IP de un servidor de directorio. Esta dirección, en general, está configurada globalmente para el entorno de la nube; no obstante, es posible tener múltiples servidores de directorio en un centro de datos (por ejemplo, uno para un conjunto de huéspedes). Los parámetros de consulta son (dirección de IP de VM2, ID del huésped). Los parámetros de respuesta son (ubicación física de VM2, dirección de mac de la puerta de enlace virtual de la subred de VM2, dirección de mac de VM2).

25 Por consiguiente, el método 600 incluye modificar (bloque 608) el paquete de IP en la primera puerta de enlace de L2 50-1 para obtener un paquete de IP modificado, incluyendo cambiar una dirección física de origen en el paquete de IP de una dirección física del primer ordenador principal 54-1 a la dirección física obtenida para la segunda puerta de enlace de L2 50-2, y cambiar una dirección física de destino de una dirección física de la primera puerta de enlace de L2 50-1 a la dirección física obtenida para el segundo ordenador principal 54-2.

30 Adicionalmente, el método 600 incluye generar (bloque 610) una unidad de datos de protocolo (PDU) de L2 en la primera puerta de enlace de L2 50-1. La PDU comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 50-1, una dirección física de destino correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 50-2, un identificador de organización (OID) para la red lógica 30 y una carga útil que comprende el paquete de IP modificado. De este modo, el método 600 continúa con el envío (bloque 612) de la PDU desde la primera puerta de enlace de L2 50-1 en la conexión de L2 34, para su recepción en la segunda puerta de enlace de L2 50-2.

35 En un caso a modo de ejemplo, determinar (bloque 604) en la primera puerta de enlace de L2 50-1 que el paquete de IP tiene como objetivo el segundo ordenador principal 54-2 en la segunda subred 32-2 incluye detectar que una dirección física de destino incluida en el paquete de IP coincide con una dirección física definida para la primera puerta de enlace de L2 50-1. En este sentido, los ordenadores principales 54 en la primera subred 32-1 pueden estar configurados para tratar la primera puerta de enlace de L2 50-1 como una puerta de enlace predeterminada en algún sentido, y utilizar una dirección virtual reservada para la puerta de enlace de L2 cuando se envían datos a otro ordenador principal 54 en una subred 32 diferente.

40 Por consiguiente, en al menos un ejemplo de esta disposición, la puerta de enlace de L2 50-1 proporciona su dirección física al primer ordenador principal 54-1 en respuesta a la recepción de una solicitud de protocolo de resolución de dirección (ARP – Address Resolution Protocol, en inglés) desde el primer ordenador principal 54-1. En concreto, la primera puerta de enlace de L2 50-1 está configurada para responder a la solicitud de ARP enviando una respuesta de ARP que incluye la dirección física definida para la primera puerta de enlace de L2 50-1.

Cualquiera de los ejemplos anteriores con respecto al método 600 puede estar basado en que los primer y segundo ordenadores principales 54-1, 54-2 son primera y segunda máquinas virtuales (VM), en los que las primera y segunda subredes 34-1, 34-2 son primera y segunda subredes virtuales, y la red lógica 30 comprende una red virtual que incluye las primera y segunda subredes virtuales 32-1, 32-2. Además, en esta disposición a modo de ejemplo, la primera puerta de enlace de L2 50-1 está implementada en un primer hipervisor 48 que virtualiza la primera VM y es ejecutada en un primer ordenador principal físico 40-1, y la segunda puerta de enlace de L2 50-2 está implementada en un segundo hipervisor 48 que virtualiza la segunda máquina virtual y es ejecutada en un segundo ordenador principal físico 40-2.

En otra extensión o variación del método 600, el OID para la red lógica 30 se determina en base a un puerto o conexión a través del cual se recibió el paquete de IP desde el primer ordenador principal 54-1. Tal como se indicó, el OID en, al menos, algunas realizaciones contempladas en el presente documento, identifica a un huésped determinado en un entorno basado en la nube que aloja redes virtuales para cualquier número de huéspedes, y el OID es utilizado operativamente en el intercambio ventajoso de comunicaciones entre ordenadores principales 54 que pertenecen al mismo huésped, pero que funcionan en diferentes subredes 32 de la red lógica 30 que está virtualizada en el entorno de la nube para ese huésped.

En un ejemplo de las operaciones establecidas en el bloque 606, la primera puerta de enlace de L2 50-1 obtiene las direcciones físicas para la segunda puerta de enlace de L2 50-2 y el segundo ordenador principal 54-2 obteniendo información del servicio de directorio de una tabla de directorio localizado, si la tabla de directorio localizado incluye las entradas correspondientes, y, en caso contrario, envía una solicitud de directorio que incluye el OID y una dirección de IP del segundo ordenador principal 54-2, tal como es conocido a partir del paquete de IP recibido desde el primer ordenador principal 54-1, y, por consiguiente, recibe una respuesta de servicio de directorio que indica las direcciones físicas para la segunda puerta de enlace de L2 50-2 y el segundo ordenador principal 54-2.

La figura 7 ilustra una tabla de directorio 60 a modo de ejemplo, que está localizada en el sentido de que diferentes partes de la tabla pueden ser almacenadas y mantenidas por diferentes entidades. Por ejemplo, la primera puerta de enlace de L2 50-1 asociada con el hipervisor 48 en el ordenador principal físico 40-1 puede utilizar la "Tabla de L3 P1", que se muestra en la figura 7, en la que VMid = el ID de la VM del paquete de origen, Guest_dip = la dirección de IP de la VM de destino, Phys_daddr = la dirección física del ordenador principal físico 40 de destino, smac = la dirección física de la puerta de enlace de L2 50 de destino, y Dmac = la dirección física de la VM 54 de destino.

En el mismo ejemplo, la segunda puerta de enlace de L2 50-2 puede utilizar la "Tabla de VM P2", en la que el ID del huésped = el OID, Dmac = la dirección física de la VM 54 de destino y VMid = el ID de la VM 54 de destino. La segunda puerta de enlace 50-2 puede utilizar, además, la "Tabla de L2 P2", en la que VMid = el ID de la VM 54 de destino, Smac = la dirección física de la VM 54 de origen (paquete de origen) y MP1 = la dirección física del segundo ordenador principal físico 40-2.

Por supuesto, la explicación anterior de la tabla de directorio distribuido 60 adopta la perspectiva de enviar un paquete de IP desde el primer ordenador principal 54-1 hasta el segundo ordenador principal 54-2. Se realizarían / utilizarían entradas similares para el caso en que el segundo ordenador principal 54-2 sea el ordenador principal de origen o fuente, y envíe un paquete de IP al primer ordenador principal 54-1. De este modo, en una realización generalizada, las puertas de enlace de L2 50-1 y 50-2 tienen la funcionalidad de envío mostrada a modo de ejemplo en la figura 6A y, asimismo, tienen la funcionalidad de recepción complementaria mostrada a modo de ejemplo adicional en la figura 6B. No obstante, por coherencia con el ejemplo de la figura 6A, en el que el primer ordenador principal 54-1 envió un paquete de IP para su entrega al segundo ordenador principal 54-2, la figura 6B describe el procesamiento del lado de recepción en el segundo ordenador principal de L2 54-2.

Los aspectos del lado de recepción del método 600 que se muestra en la figura 6B incluyen recibir (bloque 614) la PDU en la segunda puerta de enlace de L2 50-2, extraer (bloque 616) el paquete de IP modificado de la PDU y reenviar el paquete de IP modificado al segundo ordenador principal 54-2, de acuerdo con la dirección física de destino incluida en el paquete de IP modificado. Al realizar estas operaciones, la segunda puerta de enlace de L2 50-2 utiliza el OID incluido en la PDU para eliminar la ambigüedad en la dirección física de destino incluida en el paquete de IP modificado. Además, cuando la dirección física de destino es una dirección de multidifusión, la segunda puerta de enlace de L2 50-2 envía el paquete de IP modificado a cada ordenador principal 54 en la segunda subred 32-2 que está asociada con la dirección de multidifusión.

Tal como se mencionó anteriormente, las puertas de enlace de L2 50-1 pueden estar implementadas como funcionalidades en asociación con sus respectivos hipervisores 48 y ordenadores principales físicos 40. Teniendo esto en cuenta, y haciendo referencia a la figura 4, la primera puerta de enlace de L2 50-1 incluye una primera interfaz 56 que está configurada para comunicaciones de datos en una primera subred 32-1 de una red lógica 30 que tiene diferentes subredes 32 con una conexión de L2 entre las mismas. La primera interfaz 56 puede estar realizada funcionalmente en el hipervisor 48, y se comprenderá en un ejemplo como una disposición de circuito de procesamiento que implementa el protocolo y la funcionalidad de interfaz apropiados, por ejemplo, Ethernet.

La primera puerta de enlace de L2 50-1 incluye, además, una segunda interfaz 58 que está configurada para comunicaciones de datos a través de la conexión de L2 con una segunda puerta de enlace de L2 50-2 en una

segunda subred 32-2 de la red lógica. En un caso a modo de ejemplo, la segunda interfaz 58 está configurada para intercambiar PDU de L2 con otras puertas de enlace de L2 50 a través de la conexión de L2 34 que se muestra en la figura 4.

5 La primera puerta de enlace de L2 50-1 incluye, además, un circuito de procesamiento 52, que, de nuevo, puede estar realizada mediante programación en los recursos de procesamiento (una o más CPU u otros circuitos de procesamiento digital) que comprenden el hipervisor 48 / ordenador principal físico 40-1. El circuito de procesamiento 52 está asociado operativamente con las primera y segunda interfaces 56, 58, y está configurado para: recibir un paquete de IP desde el primer ordenador principal 54-1; determinar que el paquete de IP está dirigido a un segundo ordenador principal 54-2 en una segunda subred 32-2 dentro de la misma red lógica; obtener una dirección física para una segunda puerta de enlace de L2 50-2 en la segunda subred 32-2, y una dirección física para el segundo ordenador principal 54-2; modificar el paquete de IP para obtener un paquete de IP modificado, incluyendo el cambio de una dirección física de origen en el paquete de IP de una dirección física del primer ordenador principal 54-1 a la dirección física obtenida para la segunda puerta de enlace de L2 50-2, y el cambio de una dirección física de destino de una dirección física de la primera puerta de enlace de L2 50-1 a la dirección física obtenida para el segundo ordenador principal 54-2; generar una unidad de datos de protocolo (PDU) de L2 en dicha primera puerta de enlace de L2 50-1, que comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 50-1, una dirección física de destino correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 50-2, un OID para la red lógica 30, y una carga que comprende el paquete de IP modificado; y enviar la PDU desde la primera puerta de enlace de L2 50-1 en la conexión de L2, para su recepción en la segunda puerta de enlace de L2 50-2.

La misma funcionalidad de paquete de origen puede estar implementada, asimismo, en la segunda puerta de enlace de L2 50-2, con respecto a la puerta de enlace de L2 50-1 o a cualquier otra interconectada, tal como la puerta de enlace de L2 50. En un sentido más amplio, la primera puerta de enlace de L2 50-1 puede enviar varias PDU a la segunda puerta de enlace de L2 50-2 de acuerdo con las operaciones que se muestran en la figura 6A, o de acuerdo con extensiones o variaciones de las mismas. Lo mismo es cierto para la segunda puerta de enlace de L2 50-2 con respecto al envío de varias PDU a la primera puerta de enlace de L2 50-1, por ejemplo, en la que el segundo ordenador principal 54-2 origina paquetes de IP dirigidos al primer ordenador principal 54-1.

Del mismo modo, la funcionalidad de recepción de paquetes (las operaciones del lado de recepción) descritas en el presente documento, por ejemplo, mediante el ejemplo proporcionado en la figura 6B, puede estar realizada en la segunda puerta de enlace de L2 50-2 con respecto a la primera puerta de enlace de L2 50-1. Del mismo modo, las operaciones del lado de recepción pueden estar realizadas en la primera puerta de enlace de L2 50-1 con respecto a las PDU enviadas desde la segunda puerta de enlace de L2 50-2. En un ejemplo de procesamiento del lado de recepción tomado en esa dirección, el circuito de procesamiento 52 en la primera puerta de enlace de L2 50-1 está configurado, además, para recibir una segunda PDU desde la segunda puerta de enlace de L2 50-2, en la que la segunda PDU incluye un segundo paquete de IP modificado correspondiente a un paquete de IP dirigido al primer ordenador principal 54-1 y enviado desde el segundo ordenador principal 54-2.

En el presente documento, el término “segundo” aplicado a la PDU recibida en la primera puerta de enlace de L2 50-1 desde la segunda puerta de enlace de L2 50-2, y, tal como se aplica al paquete de IP modificado en esa PDU recibida, es simplemente una etiqueta para una distinción clara con la PDU y el paquete de IP modificado explicado en el contexto de la figura 6A. De este modo, se comprenderá que la información del encabezado en la segunda PDU incluye una dirección física de origen correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 50-2, una dirección física de destino correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 50-1, el OID para la red lógica 30, y una carga útil que comprende la segunda PDU modificada (que fue generada por la segunda puerta de enlace de L2 50-2 de la misma manera que se explicó para la primera puerta de enlace de L2 50-1 en el contexto de la figura 6A). A su vez, el circuito de procesamiento 52 en la primera puerta de enlace de L2 50-1 está configurado para extraer el segundo paquete de IP modificado de la segunda PDU, y reenviar el segundo paquete de IP modificado al primer ordenador principal 54-1, de acuerdo con la dirección física de destino incluida en el segundo paquete de IP modificado.

En el contexto anterior, el circuito de procesamiento 52 puede estar configurado para utilizar el OID incluido en la segunda PDU para eliminar la ambigüedad de la dirección física de destino incluida en el segundo paquete de IP modificado. Además, al menos para el caso en el que la dirección física de destino en el segundo paquete de IP modificado es una dirección multidifusión, el circuito de procesamiento 52 está configurado para enviar el segundo paquete de IP modificado a cada ordenador principal 54 en la primera subred 32-1 que está asociada con la dirección de multidifusión. La totalidad de dicho procesamiento puede ser realizado, asimismo, por el circuito de procesamiento 52 en la puerta de enlace de L2 50-2, con respecto a las PDU recibidas desde la primera puerta de enlace de L2 50-1, y, en general, para cualquier puerta de enlace de L2 50 configurada de manera similar en la red lógica 30.

De este modo, las puertas de enlace de L2 50 resuelven el problema de encaminamiento de subred virtual con una arquitectura de conmutación de L2 y de L3 integrada que puede utilizar, por ejemplo, alguna forma de túnel entre los ordenadores principales físicos 40. Dicho túnel puede ser implementado, por ejemplo, una superposición de red de L2 o de L3 tal como SPB o VxLAN. No obstante, en lugar de utilizar únicamente la dirección virtual de destino de L2 para determinar el ordenador principal físico de destino 40, el método que se explica en el presente documento

utiliza una combinación de las direcciones virtuales de L2 y de L3, dependiendo de si el paquete de IP está dirigido a una subred diferente o no. Para soportar dicho reenvío de L3, el encaminamiento entre subredes 32 se aplana y se distribuye en los ordenadores principales físicos 40. Con este enfoque, las explicaciones del presente documento proporcionan comunicación de punto a punto entre todas las máquinas virtuales que pertenecen a un huésped determinado en un entorno de alojamiento en la nube, sin utilizar ninguna función de encaminamiento intermedio (VRF o encaminadores de software) y aun proporcionando una virtualización completa en L2 y L3 (es decir, espacios de direcciones completamente aislados para cada huésped tanto en L2 como en L3 y soporte para múltiples subredes).

Como observación adicional, aunque varios ejemplos se centran en los ordenadores principales físicos 40, al menos una parte de la misma funcionalidad podría ser implementada en los conmutadores de L2 de la parte superior del rack (ToR - Top-of-Rack, en inglés). Ese enfoque podría ser especialmente deseable en el caso de que algunos de los huéspedes quisieran mantener, al menos, algunas de sus funciones no virtualizadas.

En cualquier caso, en un caso a modo de ejemplo, se puede considerar que las comunicaciones entre subredes explicadas en el presente documento tienen dos funciones o componentes de nivel superior: una "función de reenvío" y un "servicio de directorio". La función de reenvío se ejecuta en cada ordenador principal físico 40, por ejemplo, tal como se implementa a través del hipervisor 48 y la puerta de enlace de L2 50, y es responsable de transmitir / recibir paquetes desde / hacia las VM u otros ordenadores principales 54 realizados dentro de los ordenadores principales físicos 40.

De manera complementaria, el servicio de directorio contemplado, por ejemplo, tal como se representa a modo de ejemplo en la tabla distribuida 60 ilustrada en la figura 7, realiza un seguimiento de la ubicación física de cada ordenador principal 54 y es responsable de responder consultas para asignar (map, en inglés) direcciones virtuales y físicas, y enviar mensajes de invalidación a los ordenadores principales físicos apropiados 40 siempre que se migren ordenadores principales (virtuales) 54. El servicio de directorio mantiene, asimismo, información sobre las topologías de redes virtuales. Transforma las topologías en una tabla plana de punto a punto que se utiliza para búsquedas de L3. El servicio de directorio es responsable, asimismo, de configurar la función de reenvío (por ejemplo, la información de puerta de enlace de L2, pertenencias de multidifusión, etc.). El servicio de directorio está distribuido, preferiblemente, por razones de escalabilidad y disponibilidad, pero aparece como una única instancia lógica.

Tal como se indicó anteriormente, una o más realizaciones de las explicaciones del presente documento suponen la presencia de una superposición de red entre los ordenadores principales físicos 40, que superpone el tráfico desde los ordenadores principales 54, que están virtualizados en los respectivos ordenadores principales físicos 40. Las direcciones virtuales tanto en L2 como en L3 no están expuestas a la red física. Una vez encapsulado, el tráfico es reenviado a la red física únicamente en base a la dirección de destino física. Esa dirección podría ser una dirección de L2 con una superposición de L2 o una dirección de L3 con una superposición de L3. La técnica aprovecha, asimismo, la disponibilidad de multidifusión en la red física subyacente para transmitir paquetes a todos los ordenadores principales físicos 40 que ejecutan ordenadores principales 54 que pertenecen a la misma subred virtual 32. Además, tal como se indicó en varias ocasiones, las explicaciones del presente documento utilizan un ID de huésped, por ejemplo, el OID descrito anteriormente: para la eliminación de la ambigüedad, en la que el ID del huésped identifica de manera única a un huésped entre varios huéspedes y sus respectivas redes lógicas 30. Tanto SPB como VxLAN soportan la totalidad de dicha funcionalidad.

Cuando se mira a la función de reenvío de paquetes contemplada en el presente documento, la puerta de enlace de L2 50 u otra entidad configurada de manera apropiada asociada con el hipervisor 48 respectivo dentro de un ordenador principal físico 40 determinado proporciona el reenvío según sea necesario para los paquetes de IP que tienen su origen en los ordenadores principales 54 realizados en el ordenador principal físico 40. Estos ordenadores principales 54 se denominan, en ocasiones, "máquinas invitadas" y el tráfico en cuestión, por lo tanto, se denomina, en ocasiones, "tráfico invitado". La puerta de enlace de L2 50 determina el ordenador principal físico de destino 40 en base a la dirección de control de acceso a medio (MAC o mac) de destino virtual o a la dirección de IP virtual de destino, es decir, la dirección de IP del ordenador principal de destino 54.

A continuación, la puerta de enlace de L2 50 encapsula y envía los paquetes de IP en consecuencia. En una implementación a modo de ejemplo, la operación de reenvío utiliza dos tablas: una tabla de L2 y una tabla de L3. Ambas tablas pueden ser partes de la tabla distribuida 60 que se muestra en la figura 7 y están indexadas por ID de máquina virtual (VM), además, de la clave principal (tal como la dirección de IP de destino) para eliminar la ambigüedad entre direcciones virtuales potencialmente superpuestas. En el presente documento, un ID de VM se comprenderá como el ID único de un ordenador principal 54 determinado realizado dentro de un ordenador principal físico 40.

La tabla de L2 proporciona una asignación entre una dirección de mac virtual y una dirección de ordenador principal físico. Esta tabla se utiliza para encontrar el ordenador principal físico 40 que ejecuta los ordenadores principales 54 (denominados, asimismo, simplemente, máquinas virtuales) que se encuentran en la misma subred virtual. Las claves son el ID de máquina virtual local y la dirección de mac de destino virtual. La tabla se rellena de manera automática utilizando la dirección de mac de origen virtual de los paquetes entrantes de la subred virtual local y de las solicitudes al servicio de directorio.

5 La tabla de L3 proporciona una asignación entre una dirección de IP virtual y una dirección de ordenador principal físico. Esta tabla se utiliza para encontrar el ordenador principal físico 40 para los ordenadores principales 54 ubicados en diferentes subredes virtuales. Las claves son el ID de VM y la dirección de IP de destino virtual, y la tabla almacena una 3-tupla de la dirección física de destino, la mac de origen de la puerta de enlace de L2 50 en el lado de recepción y la dirección de mac del ordenador principal de destino 54. Esta información es necesaria para emular adecuadamente el comportamiento de un encaminador. La tabla de L3 solo es rellena utilizando información del servicio de directorio, para garantizar que el servicio de directorio tenga un conocimiento preciso de qué ordenadores principales físicos 40 tienen asignaciones en su tabla de L3, y pueda enviar mensajes de invalidación solo a esos ordenadores principales físicos 40.

10 Para transmitir un paquete de IP originado en un ordenador principal local 54 determinado, la función de reenvío realizada en la puerta de enlace local de L2 50 correspondiente determina, en primer lugar, si el paquete de IP está destinado a la subred local 32 o no. Si la dirección de mac de destino virtual corresponde a la dirección de la puerta de enlace local de L2 50, se detecta que el paquete de IP no tiene un destino local y debe ser encaminado (es decir, reenviado utilizando su dirección de IP de destino). La dirección de mac para la puerta de enlace de L2 50, a este respecto, está configurada por el servicio de directorio en base a las topologías de red virtual. Reservar o definir una dirección de puerta de enlace virtual predeterminada para la puerta de enlace de L2 50 simula la presencia de un encaminador, al menos desde la perspectiva de los ordenadores principales 54.

20 Para reenviar un paquete en la capa de L3, la función de reenvío determina la dirección física de destino de la tabla de L3 utilizando la dirección de IP de destino en el paquete saliente. En caso de fallo, la información se solicita al servicio de directorio y se introduce en la tabla. Antes de ser reenviadas, las direcciones de mac de origen y destino se reescriben en el paquete de IP, de tal manera que el paquete parece haber sido transmitido por la puerta de enlace de L2 50 de destino. Las direcciones de mac de origen y destino también se almacenan en la tabla de L3 junto con la dirección física de destino. Una vez que se determina la dirección de destino física y se han actualizado las direcciones de mac, el paquete es encapsulado con un encabezado físico (ya sea de L2 o de L3, dependiendo de la red física subyacente), y transmitido; véase la modificación del paquete y las operaciones de encapsulación basadas en PDU en la figura 6A.

30 Para los paquetes de unidifusión local, la dirección física de destino se busca en la tabla de L2. En caso de fallo, la información se solicita al servicio de directorio y se introduce en la tabla. A continuación, el paquete es encapsulado con un encabezado físico y transmitido. Los paquetes de difusión son transmitidos a todos los ordenadores principales físicos 40 que ejecutan ordenadores principales 54 en la subred virtual 32, excepto por un tipo de paquetes: solicitud de ARP para la dirección de mac de las puertas de enlace de L2 50. Estas solicitudes de ARP son manejadas de manera local por la puerta de enlace de L2 50 respectiva, es decir, la función de reenvío local crea una respuesta de ARP y la envía directamente al ordenador principal local 54 que originó la solicitud de ARP.

35 Considérese el siguiente algoritmo de transmisión a modo de ejemplo que puede ser implementado por una determinada puerta de enlace de L2 50-1 dentro de un hipervisor 48 y el ordenador principal físico 40-1 correspondiente. Se comprenderá que la transmisión se realiza con respecto a un paquete de IP saliente de un ordenador principal 54 que es local a la puerta de enlace de L2 50-1; por ejemplo, un ordenador principal 54-1 en el ordenador principal físico 40-1 transmite un paquete de IP que está dirigido a un ordenador principal 54-2 en otro ordenador principal físico 40-2, en el que el ordenador principal 54-2 está en una subred 32 diferente que el ordenador principal 54-1, pero está afiliado con el mismo huésped y se encuentra en la misma red lógica 30.

Teniendo en cuenta estas indicaciones, a continuación, se proporciona un pseudocódigo para el algoritmo de transmisión de paquetes a modo de ejemplo, en el que la utilización de los términos "invitado", "VM" y "VMid" hace referencia al ordenador principal de origen 54-1 o al ordenador principal de destino 54-2, dependiendo de los atributos de origen o de destino indicados:

Transmit (*phys_saddr, VMid, Tid, packet*):

Store destination MAC address from packet in *guest_dmac*;

if *guest_dmac* is a L2 gateway interface

{

Store destination IP address from packet in *guest_dip*;

Lookup L3 table with *VMid* and *guest_dip* yielding *phys_daddr, smac, dmac*;

if the Lookup failed

{

Lookup the physical location of VM with L3 key using *Tid* and *guest_dip* yielding *phys_daddr, smac, dmac*;

```

        Add an entry with VMid, guest_dip, phys_daddr, smac, dmac
        to the L3 table;
    }

    Set the Ethernet destination address of packet to dmac;

    Set the Ethernet source address of packet to smac;

    Encapsulate_and_send (phys_saddr, phys_daddr, Tid, packet);
}

elseif (guest_dmac is a broadcast address)
{
    if packet is arp request for a virtual gateway
    {
        Emulate_arp_response_from_router(VMid, packet);
    }
    else
    {
        Set the phys_daddr to be the Broadcast emulation
        Multicast group for VMid;

        Encapsulate_and_send (phys_saddr, phys_daddr, Tid, packet);
    }
}

else
{
    Lookup the L2 table with VMid, guest_dmac yielding phys_daddr;
    if the Lookup failed
    {

```

Lookup the physical location of VM with L2 key using *Tid* and

guest_dmac yielding *phys_daddr*;

Add an entry with *VMid*, *guest_dmac*, *phys_daddr* to the L2

table;

}

Encapsulate_and_send (*phys_saddr*, *phys_daddr*, *Tid*, *packet*);

}

Un ejemplo correspondiente al algoritmo de recepción en la puerta de enlace de L2 50-2 de destino viene dado en pseudocódigo como:

Receive (*phys_saddr*, *phys_daddr*, *Tid*, *packet*):

if *phys_daddr* is a multicast address

{

for each *VMid* that is a recipient for this multicast address

{

Add an entry with *VMid*, *<packet_source_mac>*, *phys_saddr*

to the L2 table;

Send the packet to the VM identified by *VMid*;

}

}

else

{

Lookup target using *Tid*, *<packet_dest_mac>* yielding *VMid*;

Add an entry with *VMid*, *<packet_source_mac>*, *phys_saddr* to the L2

table;

Send the packet to the VM identified by *VMid*;

}

5

En otro ejemplo, considérense VM1 y VM2 como representantes de diferentes ordenadores principales 54 que se ejecutan en diferentes subredes 32 en la misma red lógica 30, en el que VM1 tiene una puerta de enlace de L2 50 correspondiente que funciona en su subred 32 y, asimismo, VM2 tiene una puerta de enlace de L2 50

correspondiente que funciona en su subred 32. Los ordenadores principales físicos 40-1 (que aloja VM1) y 40-2 (que aloja VM2) correspondientes se designan como P1 y P2. Por lo tanto, VM1 y VM2 están en diferentes subredes 32 y se comunican entre sí. VM1 se ejecuta en P1 y VM2 se ejecuta en P2. VG1 {mac, ip} es la interfaz de la puerta de enlace de L2 50 de VM1 y VG2 {mac, ip} es la interfaz de la puerta de enlace de L2 50 de VM2.

5 Teniendo en cuenta esa notación, y reconociendo que las funciones atribuidas a P1 o P2 pueden ser realizadas por la respectiva puerta de enlace de L2 50, un ejemplo de transmisión por etapas viene dado como:

- Etapa 1: VM1 envía una solicitud de ARP: {smac = VM1mac, dmac = bcast, que tiene VG1ip}.

10 - Etapa 2: P1 encuentra que esta es una solicitud de ARP de la dirección de IP de VG1 mediante la inspección del cuerpo de la solicitud de ARP. P1 crea una respuesta de ARP: {smac = VG1mac, dmac = VM1mac, soy VG1ip} y lo envía a VM1.

- Etapa 3: VM1 envía un paquete de IP con destino a VM2: {smac = VM1mac, dmac = VG1mac, sip = VM1ip, dip = VM2ip}.

- Etapa 4: P1 envía una solicitud al servicio de búsqueda para la ubicación física de VM2ip utilizando el ID de huésped de VM1 (igual que el de VM2).

15 - Etapa 5: El servicio de búsqueda responde con la ubicación física de VM2, la dirección de mac de la interfaz de puerta de enlace virtual para la subred de VM2 y la dirección de mac de VM2. P1 introduce esta información en su tabla de L3: VM2ip -> (MP2, VG2mac, VM2mac). El servicio de búsqueda realiza, asimismo, un rastreo de quién ha recibido información de reenvío de L3, para facilitar la invalidación de entrada cuando la VM migra.

- Etapa 6: P1 reescribe el encabezado de Ethernet del paquete de IP con destino a VM2:

20 {smac = VG2mac, dmac = VM2mac, sip = VM1ip, dip = VM2ip}, encapsula el paquete con el encabezado físico: {Source Mac = MP1, Dest mac = MP2} y lo envía a P2.

- Etapa 7: P2 recibe el paquete, lo desencapsula y lo reenvía a VM2 en base a la mac de destino. (El ID del huésped se utiliza para eliminar la ambigüedad entre direcciones de mac que se superponen).

25 - Etapa 8: VM2 responde en un asunto similar a la comunicación de VM1, excepto por que no necesita hacer una solicitud de ARP.

- Etapa 9: se realizan las etapas 4 a 7 en la dirección inversa (es decir, de VM2/P2 a VM1/P1).

30 En particular, modificaciones y otras realizaciones de la invención o invenciones descritas se le ocurrirán a un experto en la técnica que tenga el beneficio de las explicaciones presentadas en las descripciones anteriores y en los dibujos asociados. Por lo tanto, se debe comprender que la invención o invenciones no están limitadas a las realizaciones específicas dadas a conocer, y que modificaciones y otras realizaciones pretenden estar incluidas dentro del alcance de la presente invención. Aunque en el presente documento se pueden emplear términos específicos, se utilizan únicamente en un sentido genérico y descriptivo, y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un método (600) para intercambiar paquetes de protocolo de Internet, IP, entre diferentes subredes (32), que comprende:
 - 5 - recibir (602) un paquete de IP de un primer ordenador principal (54-1) en una primera subred (32-1) de una red lógica (30) que tiene diferentes subredes (32) con una conexión de L2 (34) entre las mismas, siendo recibido dicho paquete de IP en una primera puerta de enlace de L2 (50-1) en la primera subred (32-1);
 - determinar (604) en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1) que el paquete de IP está dirigido a un segundo ordenador principal (54-2) en una segunda subred (32-2) dentro de la misma red lógica (30);
 - 10 - obtener (606) en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1) una dirección física para una segunda puerta de enlace de L2 (50-2) en la segunda subred (32-2), y una dirección física para el segundo ordenador principal (54-2);
 - modificar (608) un paquete que comprende el paquete de IP en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1) para obtener un paquete modificado, que incluye cambiar una dirección física de origen asignada al paquete de IP de una dirección física del primer ordenador principal (54-1) a la dirección física obtenida para la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), y cambiar una dirección física de destino de una dirección física de la primera puerta de enlace de L2 (50-1) a la dirección física obtenida para el segundo ordenador principal (54-2);
 - 15 - generar (610) una unidad de datos de protocolo, PDU, de L2 en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1), que comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen, correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 (50-1), una dirección física de destino, correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), un identificador de organización, OID, para la red lógica (30), y una carga útil que comprende el paquete modificado; y
 - 20 - enviar (612) la PDU desde la primera puerta de enlace de L2 (50-1) en la conexión de L2 (34), para su recepción en la segunda puerta de enlace de L2 (50-2).
2. El método (600) de la reivindicación 1, en el que determinar (604) en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1) que el paquete de IP está dirigido al segundo ordenador principal (54-2) en la segunda subred (32-2) incluye detectar que una dirección física de destino asignada al paquete de IP coincide con una dirección física definida para la primera puerta de enlace de L2 (50-1).
- 25 3. El método (600) de la reivindicación 2, que comprende, además, proporcionar la dirección física de la primera puerta de enlace de L2 (50-1) al primer ordenador principal (54-1) en respuesta a la recepción de una solicitud de protocolo de resolución de dirección, ARP, (ARP) desde el primer ordenador principal (54-1), que incluye responder a la solicitud de ARP mediante el envío de una respuesta de ARP que incluye la dirección física definida para la primera puerta de enlace de L2 (50-1).
- 30 4. El método (600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los primer y segundo ordenadores principales (54-1, 54-2) son primera y segunda máquinas virtuales, VMS, las primera y segunda subredes (34-1, 34-2) son las primera y segunda subredes virtuales, y la red lógica (30) comprende una red virtual que incluye las primera y segunda subredes virtuales, y, además, en el que la primera puerta de enlace de L2 (50-1) está implementada en un primer hipervisor (48) que virtualiza la primera VM y es ejecutada en un primer ordenador principal físico (40-1), y la segunda puerta de enlace de L2 (50-2) está implementada en un segundo hipervisor (48) que virtualiza la segunda VM y es ejecutada en un segundo ordenador principal físico (40-2).
- 35 5. El método (600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además, determinar el OID en base a un puerto o conexión a través del cual se recibió el paquete de IP desde el primer ordenador principal (54-1).
- 40 6. El método (600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que obtener (606) las direcciones físicas para la segunda puerta de enlace de L2 (50-2) y el segundo huésped (54-2) comprende obtener la información de servicio de directorio de una tabla de directorio localizado, si la tabla de directorio localizado incluye las entradas correspondientes y, en caso contrario, enviar una solicitud de directorio que incluye el OID y una dirección de IP del segundo ordenador principal (54-2), tal como es conocida a partir del paquete de IP recibido desde el primer ordenador principal (54-1), y por consiguiente, recibir una respuesta de servicio de directorio que indica las direcciones físicas para esta segunda puerta de enlace de L2 (50-2) y el segundo ordenador principal (54-2).
- 45 7. El método (600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, recibir (614) la PDU en la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), extraer (616) el paquete modificado de la PDU y reenviar (618) el paquete modificado al segundo ordenador principal (54-2), de acuerdo con la dirección física de destino incluida en el paquete modificado.
- 50 8. El método (600) de la reivindicación 7, que comprende, además, utilizar el OID incluido en la PDU para eliminar la ambigüedad de la dirección física de destino incluida en el paquete modificado.

9. El método (600) de la reivindicación 7 u 8, que comprende, además, cuando la dirección física de destino es una dirección de multidifusión, enviar el paquete modificado a cada ordenador principal (54) en la segunda subred (32-2) que está asociada con la dirección de multidifusión.

10. Una primera puerta de enlace de capa 2 (L2) (50-1), que comprende:

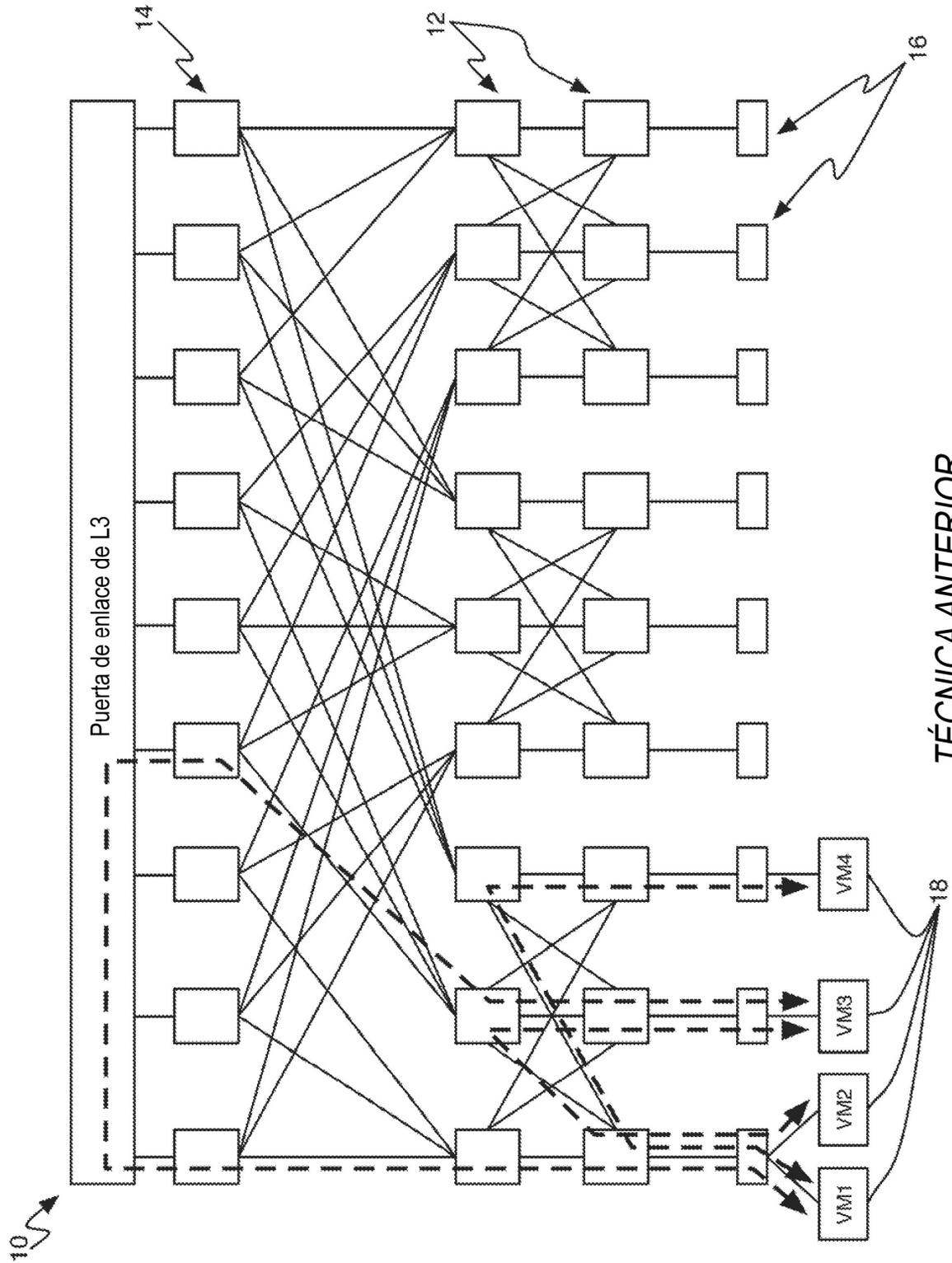
- 5 - una primera interfaz (56), configurada para comunicaciones de datos en una primera subred (32-1) de una red lógica (30) que tiene diferentes subredes (32)) con una conexión de L2 entre las mismas;
- una segunda interfaz (58), configurada para comunicaciones de datos a través de la conexión de L2 con una segunda puerta de enlace de L2 (50-2) en una segunda subred (32-2) de la red lógica; y
- 10 - un circuito de procesamiento (52), que está asociado operativamente con las primera y segunda interfaces (56, 58), y está configurado para:
 - recibir un paquete de IP desde el primer ordenador principal (54-1);
 - determinar que el paquete de IP está dirigido a un segundo ordenador principal (54-2) en una segunda subred (32-2) dentro de la misma red lógica;
 - 15 - obtener una dirección física para una segunda puerta de enlace de L2 (50-2) en la segunda subred (32-2), y una dirección física para el segundo ordenador principal (54-2);
 - modificar un paquete que comprende el paquete de IP para obtener un paquete modificado, incluyendo el cambio de una dirección física de origen asignada al paquete de IP de una dirección física del primer ordenador principal (54-1) a la dirección física obtenida para la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), y el cambio de una dirección física de destino de la dirección física de la primera puerta de enlace de L2 (50-1) a la dirección física obtenida para el segundo ordenador principal (54-2);
 - 20 - generar una unidad de datos de protocolo, PDU, de L2 en dicha primera puerta de enlace de L2 (50-1), que comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 (50-1), una dirección física de destino correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), un identificador de organización, OID, para la red lógica (30), y una carga útil que comprende el paquete modificado; y
 - 25 - enviar la PDU desde la primera puerta de enlace de L2 (50-1) en la conexión de L2, para su recepción en la segunda puerta de enlace de L2 (50-2).

11. La puerta de enlace de L2 (50-1) de la reivindicación 10, en la que la puerta de enlace de L2 comprende una entidad funcional dentro de un ordenador principal físico (40-1).

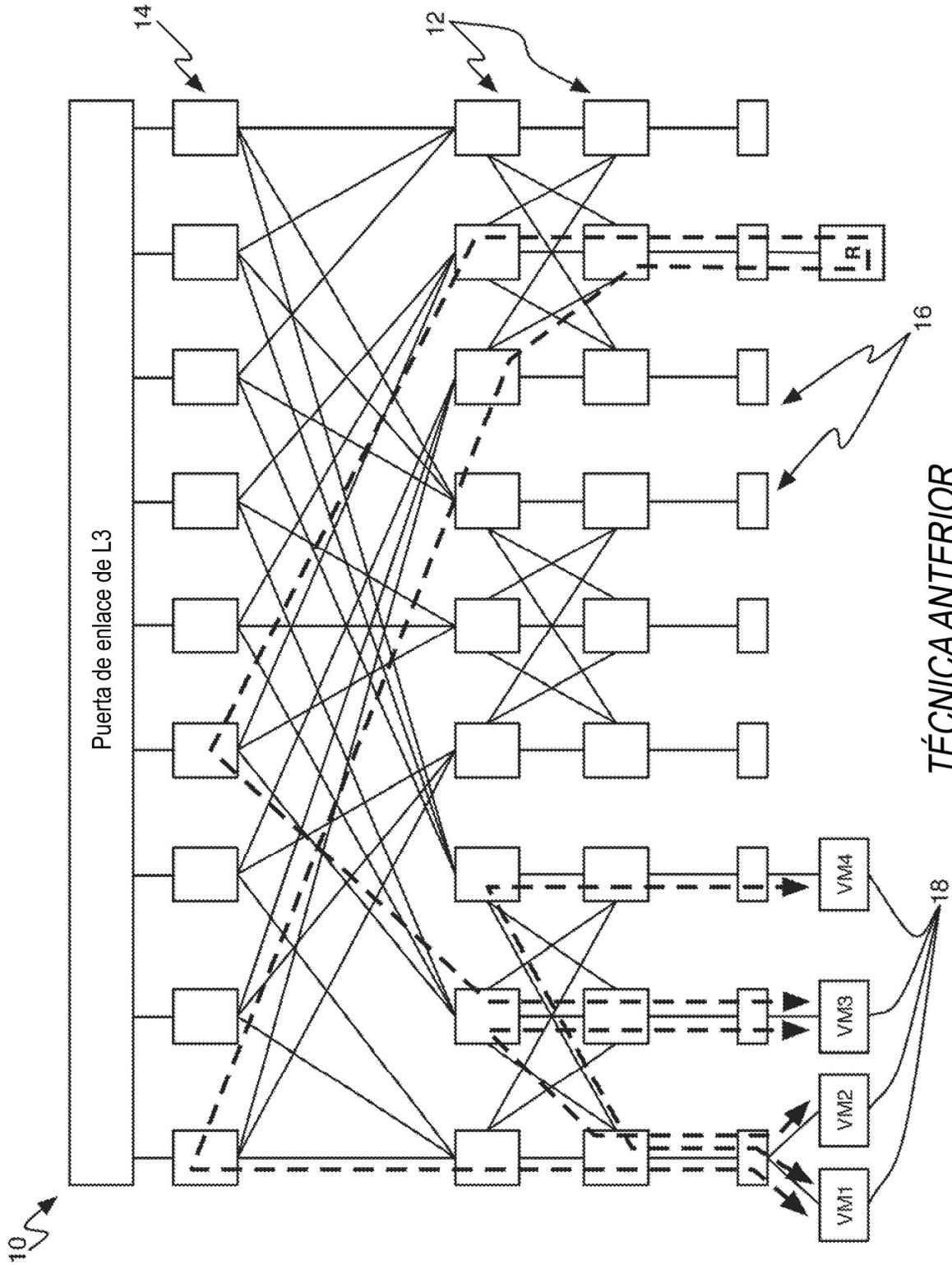
- 30 12. La puerta de enlace de L2 (50-1) de la reivindicación 10 u 11, en la que el circuito de procesamiento (52) está configurado para:
 - recibir una segunda PDU desde la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), en la que la segunda PDU incluye un segundo paquete de IP modificado correspondiente a un paquete de IP dirigido al primer ordenador principal (54-1) y enviado desde el segundo ordenador principal (54-2), y en la que la segunda PDU comprende información de encabezado que incluye una dirección física de origen correspondiente a la segunda puerta de enlace de L2 (50-2), una dirección física de destino correspondiente a la primera puerta de enlace de L2 (50-1), el OID para la red lógica (30) y una carga útil que comprende la segunda PDU modificada;
 - 35 - extraer el segundo paquete modificado de la segunda PDU y
 - reenviar el segundo paquete modificado al primer ordenador principal (54-1), de acuerdo con la dirección física de destino incluida en el segundo paquete modificado.
 - 40

13. La primera puerta de enlace de L2 (50-1) de la reivindicación 12, en la que el circuito de procesamiento (52) está configurado para utilizar el OID incluido en la segunda PDU para eliminar la ambigüedad de la dirección física de destino incluida en el segundo paquete modificado.

- 45 14. La puerta de enlace de L2 (50-1) de la reivindicación 11 o 12, en la que, cuando la dirección física de destino en el segundo paquete modificado es una dirección de multidifusión, el circuito de procesamiento (52) está configurado para enviar el segundo paquete modificado a cada ordenador principal (54) en la primera subred (32-1) que está asociado con la dirección de multidifusión.



TÉCNICA ANTERIOR
FIG. 1



TÉCNICA ANTERIOR
FIG. 2

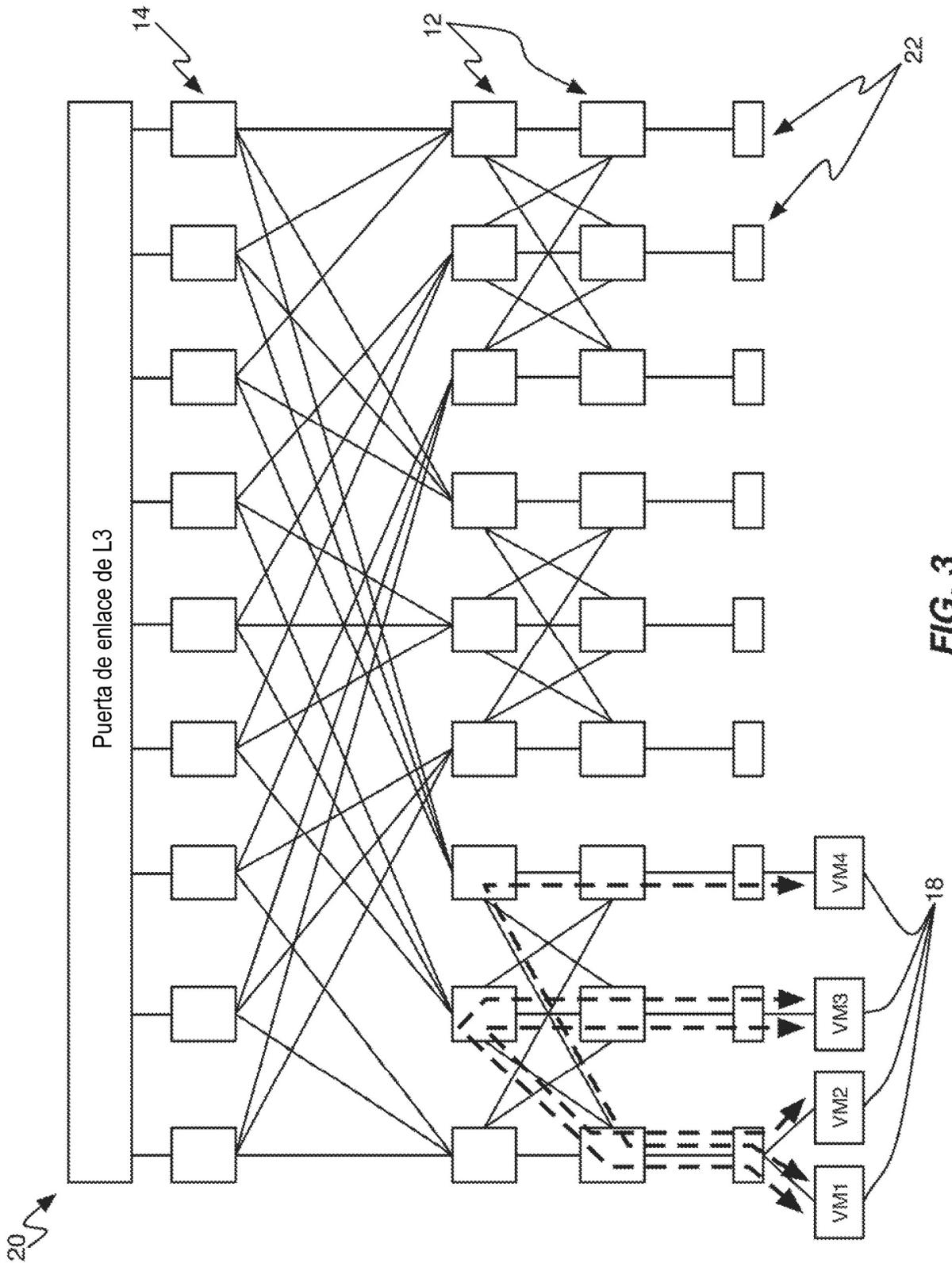


FIG. 3

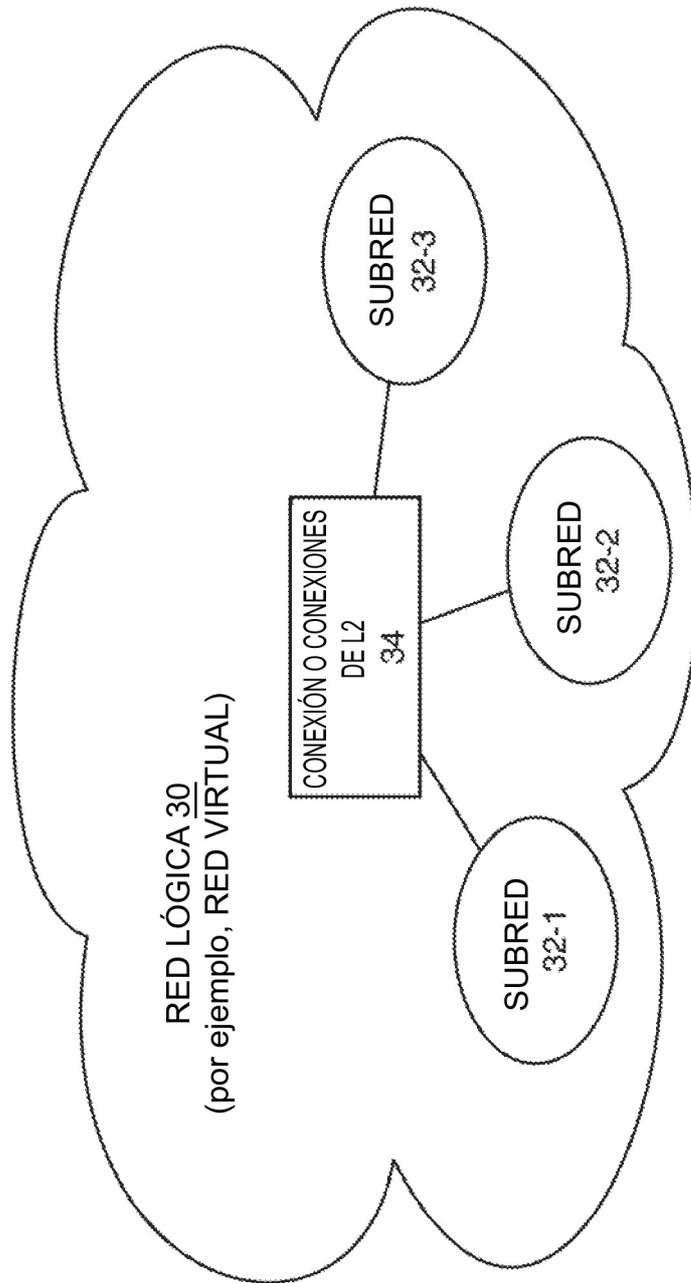


FIG. 4

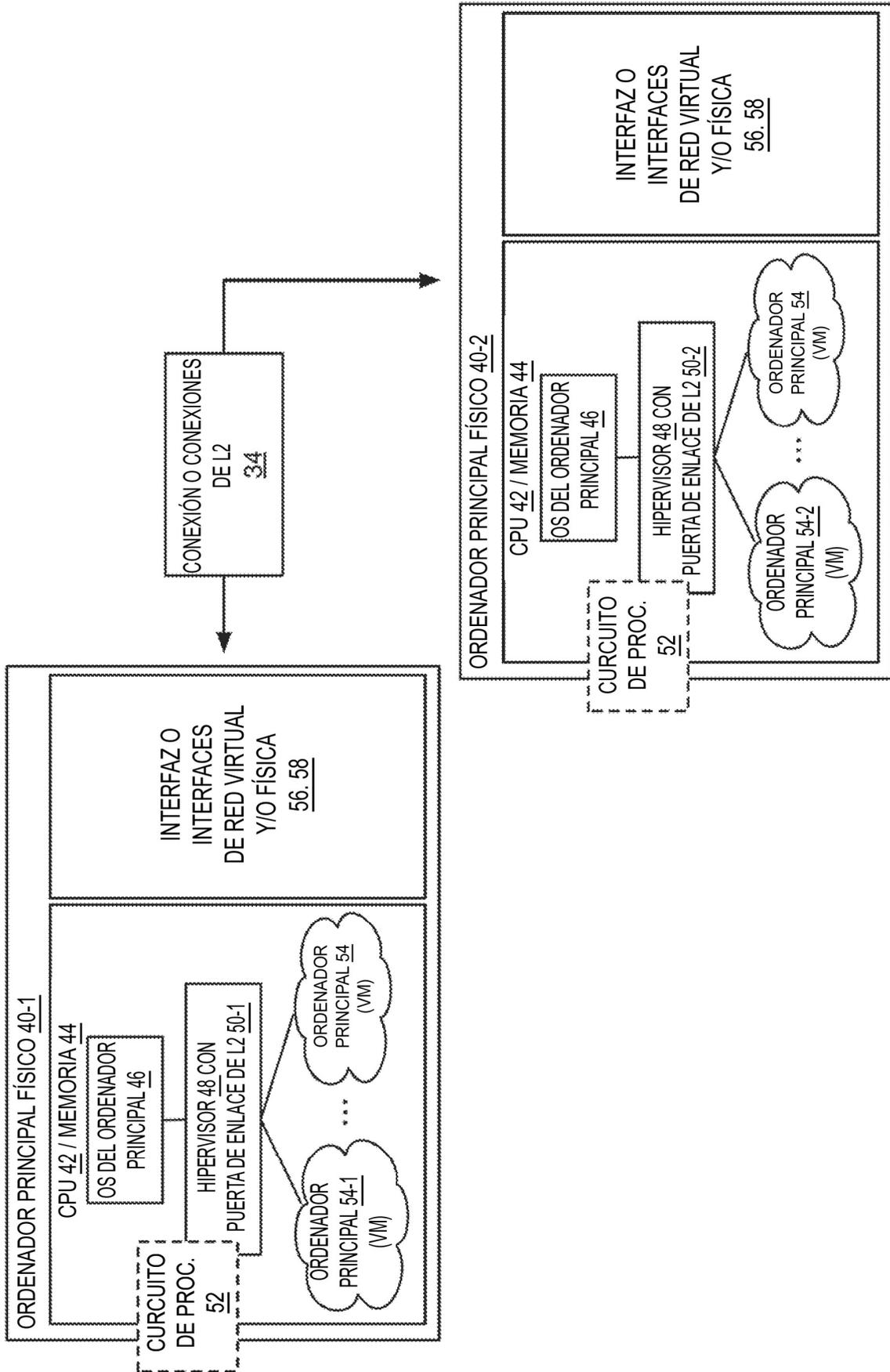
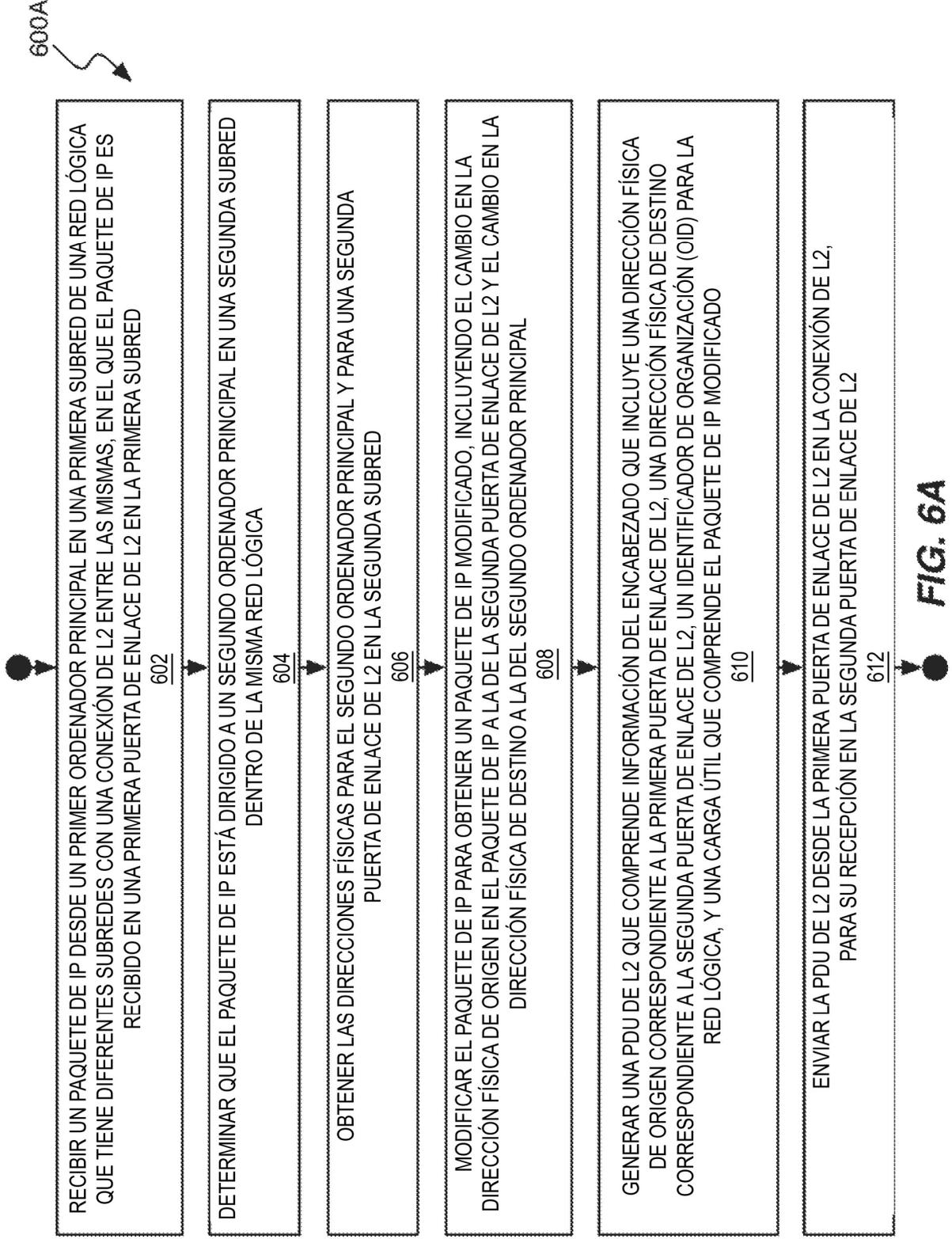
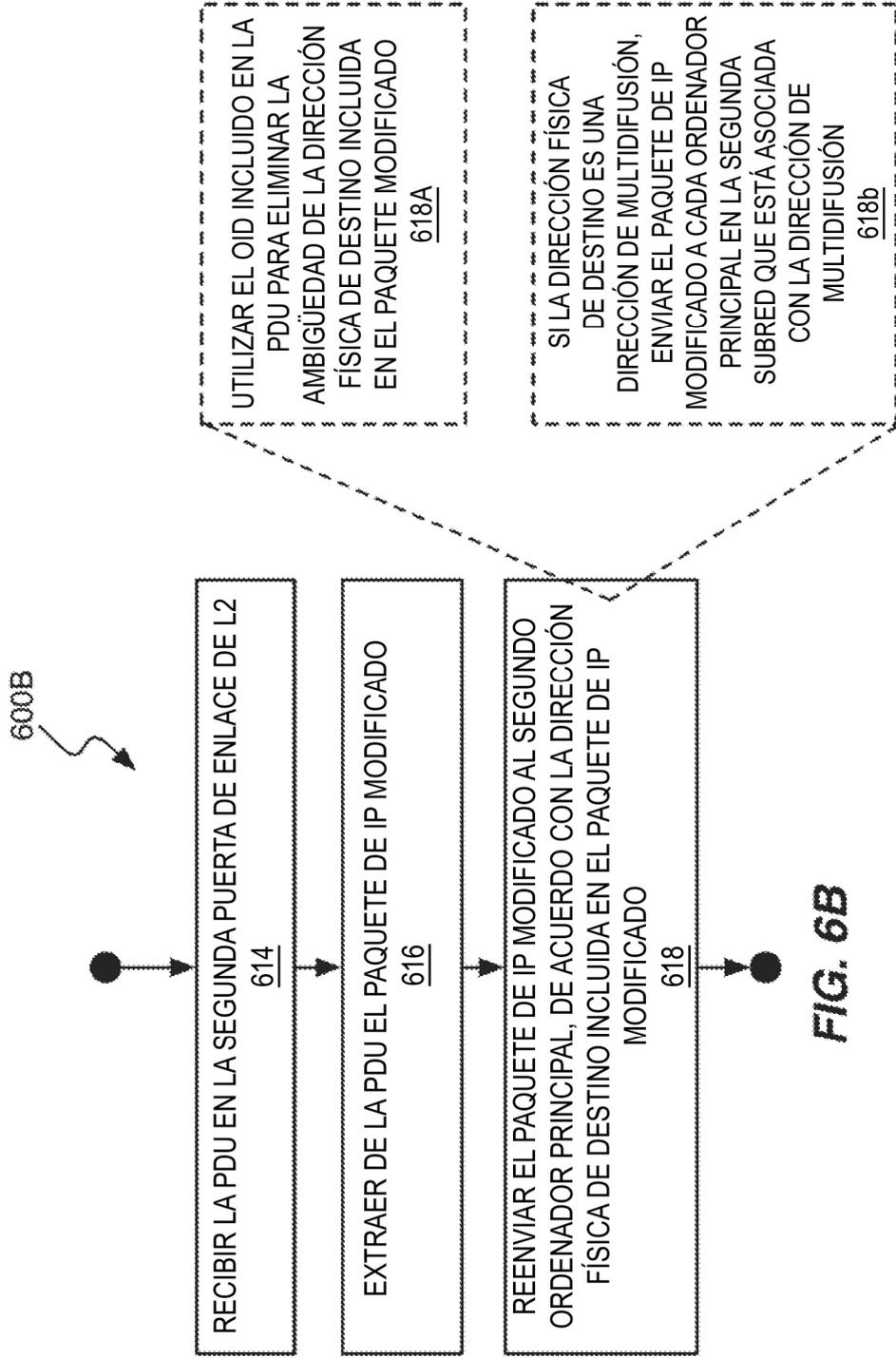


FIG. 5





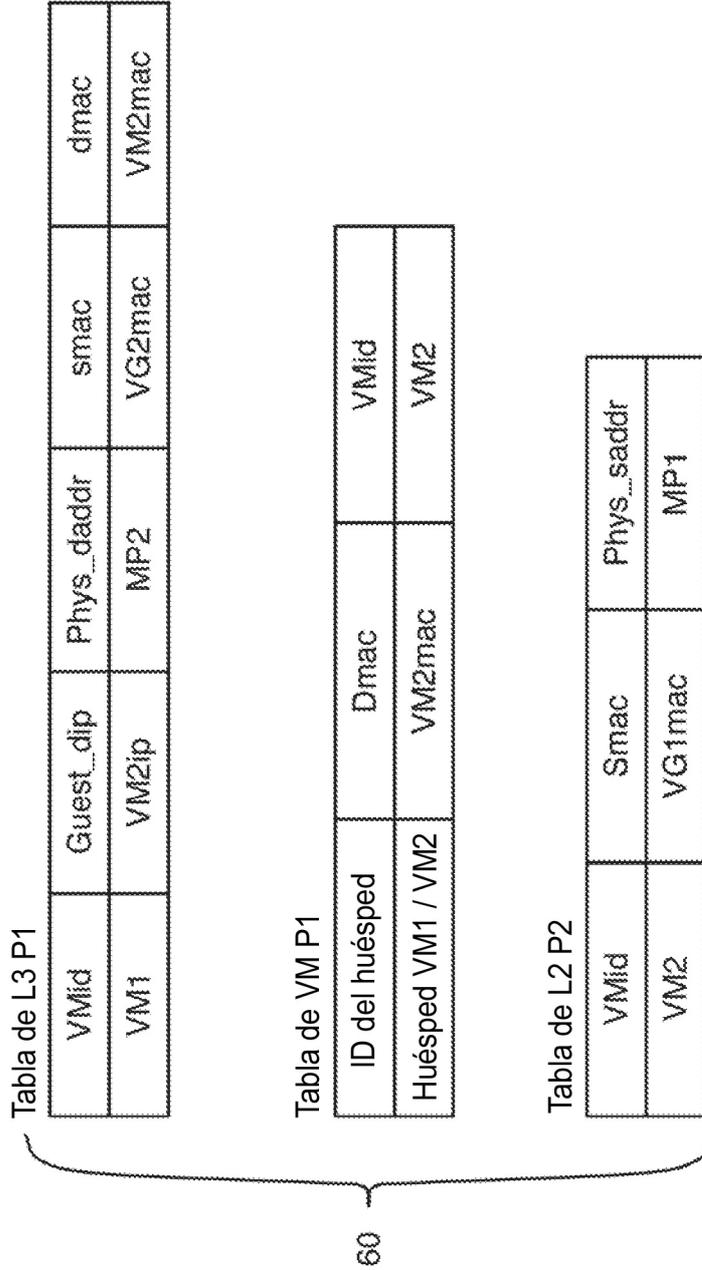


FIG. 7