

Capítulo 3

Transmisión de datos en la capa física

1. Papel de una interfaz de red

Inicialmente vamos a examinar los parámetros que permiten configurar los periféricos de un PC y más concretamente una tarjeta de red.

1.1 Principios

La interfaz de red tiene el papel de intermediario entre el ordenador y el soporte de transmisión. Al principio, la tarjeta red era un dispositivo dedicado (NIC - *Network Interface Card*) insertado en una ranura de expansión (*slot*) de la placa base; desde hace ya mucho tiempo, se trata de un componente integrado y soldado directamente en ella. Su función es preparar los datos que deben transmitirse antes de enviarlos, e interpretar los recibidos. Para ello, contiene un transmisor-receptor.

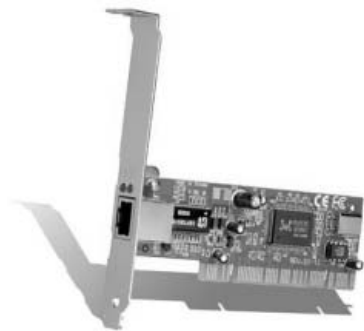


Tarjeta de red Ethernet integrada en la placa base de un PC

El controlador (*driver*) del periférico se encarga del vínculo entre la tarjeta y el sistema operativo. Este componente informático corresponde a la capa de Conexión de datos del modelo OSI.

1.2 Preparación de los datos

La capa física prepara los datos (bits) que deben transmitirse en forma de señales. Los intercambios entre el ordenador y la tarjeta se efectúan en paralelo mediante el bus de la máquina. La tarjeta de red ordenará la información en series antes de transmitir las señales a través del soporte físico.



Tarjeta de red Ethernet antigua

2. Opciones y parámetros de configuración

Cualquier punto de entrada/salida en una red debe definirse para que la trama sea recibida (aceptada) por el periférico adecuado. Una tarjeta de red o un puerto de serie deben tener un número que permita ubicarlos en el nivel más bajo (del modelo OSI).

2.1 Dirección física

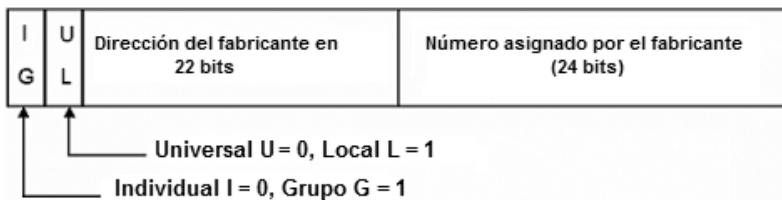
Es una dirección física de seis bytes que permite identificar la interfaz de red en una red local de tipo Ethernet (la más frecuente y que trataremos más adelante). El IEEE asigna los tres primeros bytes de esta dirección para identificar el fabricante del hardware (por ejemplo, HP: 64-4E-D7, Dell: 28-F1-0E, VMware: 00-50-56). Los tres bytes restantes se dejan a disposición del fabricante, que debe combinarlos en las tarjetas de tal manera que ninguna tenga la misma dirección física en una red de nivel 2.

■ Observación

Cuidado, una computadora puede disponer de varias direcciones físicas o direcciones MAC (Medium Access Control). Por ejemplo, un PC portátil tendrá una dirección asignada a su tarjeta Ethernet, otra dirección correspondiente a su tarjeta Wi-Fi, y además una adicional cuando se conecte a la estación de acoplamiento (Dock USB-C, que también permite la transmisión de red).

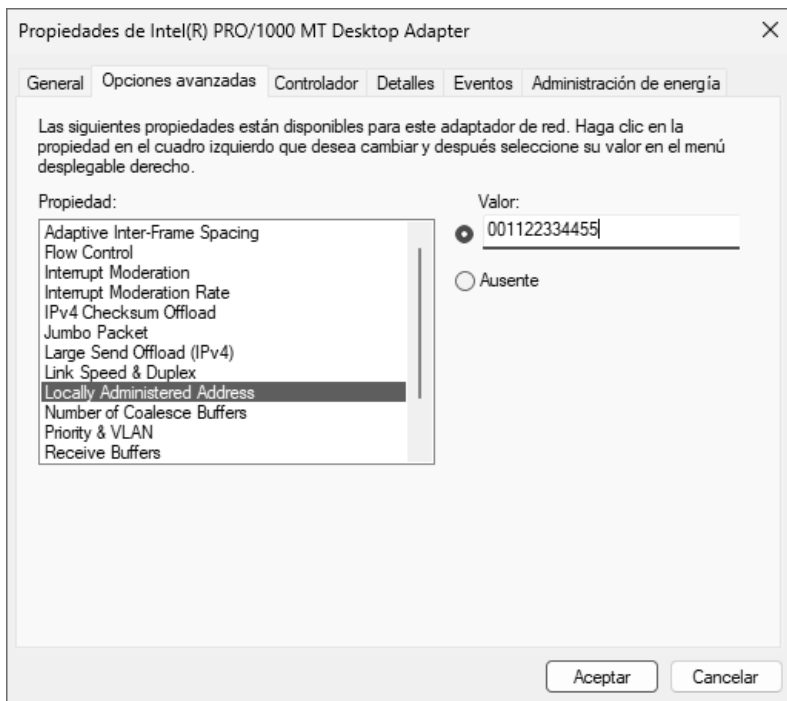
Un servidor físico generalmente dispondrá de al menos tres direcciones físicas: dos direcciones para las tarjetas de red (utilizadas para crear un agregado o teaming) y una dirección correspondiente a la tarjeta de gestión remota.

Una dirección MAC (presente en una trama de red) puede identificar una tarjeta de red única ($I = 0$) o una asociada a un grupo de tarjetas ($G = 1$). Esta dirección puede ser única globalmente ($U = 0$) o simplemente única en un perímetro limitado ($L = 1$).



■ Observación

Teóricamente, nada impide al sistema operativo trabajar con direcciones físicas diferentes de las del fabricante. Por ejemplo, en Windows, al acceder a las propiedades de la tarjeta de red, podemos configurar una nueva dirección física diferente de la asignada por defecto. Basta con validar para que la nueva dirección MAC se haga efectiva inmediatamente.



Visualización de propiedades avanzadas de una tarjeta de red en Windows 11 (Oracle Virtual Box)

■ Observación

Para acceder directamente a las propiedades de red en Windows puede ejecutar **ncpa.cpl**.

■ Observación

El comando **ipconfig /all** en Windows o **if address** en Unix/Linux permite obtener la dirección MAC.

Esta dirección se utiliza cada vez que un equipo, o más bien su tarjeta de red, tiene que emitir una trama hacia otra tarjeta de red. Sin embargo, es posible enviar un paquete no a una, sino a varias tarjetas sustituyendo la dirección única del destinatario por una dirección múltiple (a menudo una dirección de difusión, que se representa como **FFFFFFFFFFFF**, es decir, todos los bits de los seis bytes a 1).

Así, cada dirección que se refiera a varios equipos tendrá su bit más significativo (el de la izquierda) con '1' (p. ej., **FFFFFF.FFFFFFFF**), con '0' en el caso contrario (p. ej., **00A024.B6132D**).

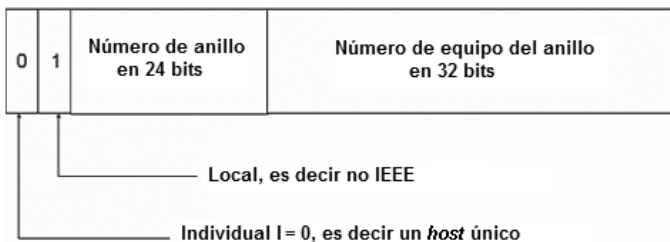
Por ejemplo, cuando una tarjeta de red efectúa una petición *Address Resolution Protocol* (ARP), envía una difusión en su red de nivel 2, es decir, el destinatario físico de la trama emitida es «todo el mundo», **FF-FF-FF-FF-FF-FF**, como se muestra a continuación:

```
⚡Frame: Base frame properties
↳ETHERNET: ETYPE = 0x0806 : Protocol = ARP: Address Resolution Protocol
⚡ETHERNET: Destination address : FFFFFFFF
↳ETHERNET: Source address : 00A024B6132D
↳ETHERNET: Frame Length : 60 (0x003C)
↳ETHERNET: Ethernet Type : 0x0806 (ARP: Address Resolution Protocol)
↳ETHERNET: Ethernet Data: Number of data bytes remaining = 46 (0x002E)
↳ARP_RARP: ARP: Request, Target IP: 172.17.0.3
↳ARP_RARP: Hardware Type = Ethernet (10Mb)
↳ARP_RARP: Protocol Type = 2048 (0x800)
↳ARP_RARP: Hardware Address Length = 6 (0x6)
↳ARP_RARP: Protocol Address Length = 4 (0x4)
↳ARP_RARP: Opcode = Request
↳ARP_RARP: Sender's Hardware Address = 00A024B6132D
↳ARP_RARP: Sender's Protocol Address = 172.17.0.92
↳ARP_RARP: Target's Hardware Address = 000000000000
↳ARP_RARP: Target's Protocol Address = 172.17.0.3
↳ARP_RARP: Frame Padding
```

Identificación de una dirección de difusión (niv. 2)

Una dirección que asigna IEEE tendrá el segundo bit significativo con '0', mientras que un valor '1' indicaría que la dirección corresponde a una dirección no normalizada.

Por ejemplo, en Token Ring (redes antiguas de área local propuestas por IBM y competidoras de Ethernet), la dirección de un equipo se compone del siguiente modo:



Asignación de direcciones físicas Token Ring

■ Observación

Históricamente, era posible crear grupos en Token Ring ($G = 1$).

■ Observación

La lista completa de los prefijos de direcciones MAC asignados a los fabricantes (OUI - Organizationally Unique Identifiers) se puede consultar en la siguiente URL: <http://standards-oui.ieee.org/oui.txt>

Por ejemplo, en un portátil Dell Latitude 5470, obtenemos la siguiente información:

- Tarjeta Ethernet
 - Descripción: Intel(R) Ethernet Connection I219-LM
 - Dirección física: 28-F1-0E-44-43-37
- Tarjeta Wi-Fi
 - Descripción: Qualcomm QCA61x4A 802.11ac Wireless Adapter
 - Dirección física: 94-53-30-19-15-0F

En el sitio del IEEE, cotejamos los prefijos de las direcciones MAC con la información de que disponemos:

28-F1-0E	(hex)	Dell Inc. One Dell Way Round Rock TX 78682 US
94-53-30	(hex)	Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd. Building D21,No.1, East Zone 1st Road Chongqing Chongqing 401332 CN

2.2 Interrupción

Cualquier periférico del PC se conecta al microprocesador a través de una línea dedicada o línea de interrupción (IRQ - *Interrupt ReQuest*). Cuando el periférico necesita el microprocesador para trabajar, le envía una señal por esta línea (tensión eléctrica que pasa al estado bajo). Históricamente, los primeros PC tenían 2 x 8 líneas en cascada. Actualmente, los sistemas operativos integran 256 interrupciones gestionadas de manera lógica (Plug and Play). Algunas líneas se asignan por defecto y otras están disponibles para los dispositivos adicionales. El microprocesador administra estas líneas por orden de prioridad: cuanto más bajo sea el número de la interrupción, más alta es su prioridad.

■ Observación

Gracias a la técnica Plug and Play, que permite la detección de la tarjeta y la asignación automática de sus parámetros, ya no es tan necesario conocer esta información. Los días en que las IRQ podían generar conflictos entre periféricos han quedado atrás.

2.3 Dirección de entrada/salida

Los periféricos interrumpen al microprocesador cada vez que necesitan intercambiar información. Esta información es recibida o enviada por una puerta de entrada/salida localizada en una dirección particular: la dirección de entrada/salida. Esta dirección apunta hacia una gama de 32 bytes como máximo, que permitirá almacenar datos y también información que indica qué se puede hacer con estos datos.

2.4 Dirección de memoria base

Es una dirección de memoria temporal cuyo papel consiste en hacer una especie de cojín (*búfer*) en la recepción o la emisión de la trama en la red.

Esta dirección tiene que ser un múltiplo de 16; por ello, se escribe a menudo en hexadecimal sin el '0' final, que se da por sabido.

2.5 Canal DMA (Direct Memory Access)

En la mayoría de los casos, los periféricos dependen del microprocesador para transferir información desde su *búfer* hacia la memoria RAM o viceversa. Como vemos, existen periféricos que disponen de un canal particular para poder intercambiar directamente información con la memoria del PC, sin recurrir al microprocesador (en segundo plano).

Algunos periféricos, en particular las tarjetas de red, disponen de un canal DMA de 1 a 7.

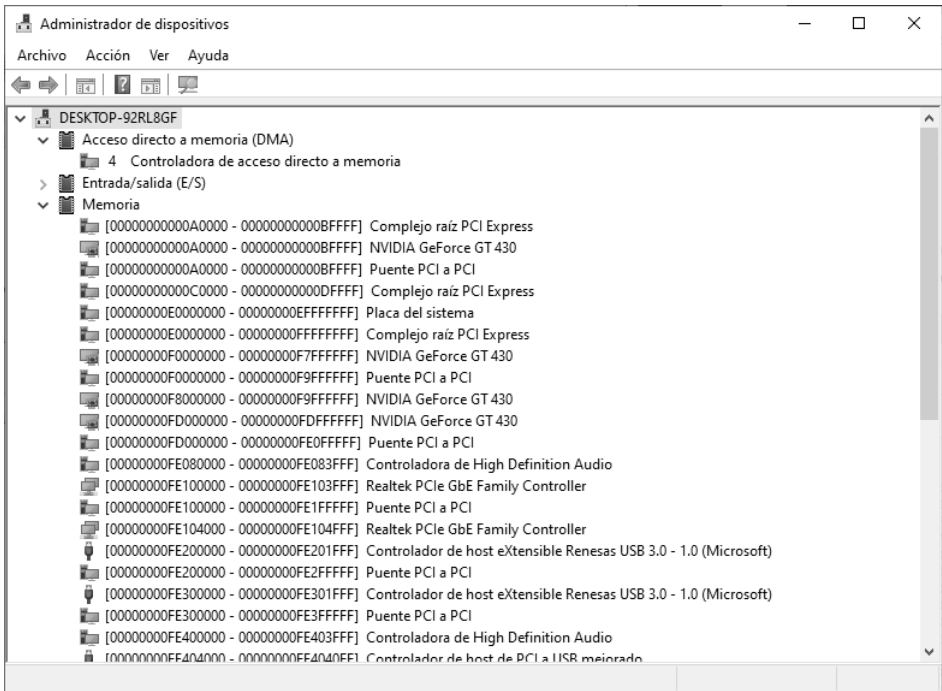
2.6 Bus

Todos los datos intercambiados entre los periféricos y el ordenador pasan por un bus de datos. Durante mucho tiempo este intercambio se efectuaba sobre todo a través de vías paralelas y la velocidad de transmisión dependía mucho de su amplitud, por ejemplo 16, 32 o 64 bits. Las nuevas tecnologías de bus favorecen soluciones de transferencias en serie, en las que los bits se envían uno tras otro.

Con el desarrollo de los dispositivos, la velocidad se ha ido superando y los conectores son más pequeños.

Los buses históricos, *Industry Standard Architecture* (ISA), *Extended Industry Standard Architecture* (EISA) y *Micro Channel Architecture* (MCA), han dejado su lugar a otros más modernos.

El administrador de dispositivos de Windows permite obtener información precisa de la asignación de los recursos de hardware (menú **Ver, Recursos por Tipo**):



Visualización de direcciones de memoria

Capítulo 3

Arquitecturas de operador y WAN

1. Marco general de los operadores

1.1 Definición

Un operador de comunicaciones electrónicas es una entidad que establece o explota redes de comunicaciones electrónicas abiertas al público o presta servicios de comunicaciones electrónicas al público. En términos prácticos, se trata de una entidad que posee, explota o comercializa una infraestructura de red de telecomunicaciones.

1.2 Los diferentes tipos de operadores

1.2.1 Los FAI: proveedores de acceso a Internet

Por definición, un operador de telecomunicaciones es una empresa que despliega y explota infraestructuras de telecomunicaciones, por lo que posee su propia red y puede vender el acceso a otras empresas. Un proveedor de acceso a Internet (PAI) es una empresa que comercializa una oferta de acceso a Internet, a menudo apoyándose en la infraestructura de un operador. Un PAI puede ser un operador o simplemente alquilar la infraestructura de otro operador.

Nada obliga a un PAI a poseer su propia infraestructura; puede basarse íntegramente en una infraestructura existente, en cuyo caso se habla de operadores virtuales o de servicios de marca blanca. En esta configuración, sus obligaciones dependen del marco legal aplicable en el país de operación.

1.2.2 Operadores de infraestructuras

Estos operadores de fibra ofrecen principalmente ofertas dirigidas a otros proveedores de acceso a Internet, aunque no exclusivamente. Asumen así el estatus de **operadores de infraestructuras**, cuya función principal es construir, explotar y mantener la red física, a diferencia de los operadores de servicios, que proporcionan el acceso directo al consumidor. Pueden alquilar su red a otros operadores o a otros proveedores de acceso a Internet.

1.2.3 Operadores de telefonía

Los operadores de telefonía móvil que disponen de su propia red se denominan MNO (*Mobile Network Operator*). Estos operadores poseen y gestionan sus propias infraestructuras de red, lo que les permite prestar servicios móviles directamente a los consumidores. El término MNO designa a una empresa que dispone de derechos de uso de frecuencias de radio, que posee sus propias antenas y gestiona de principio a fin su servicio móvil: voz, SMS y datos. Dada la importancia que tienen hoy en día los datos móviles, especialmente con las velocidades que se alcanzan en 4G/5G y la generalización del TCP/IP, los operadores móviles se convierten también en proveedores de acceso a Internet.

Los MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*) son operadores de telefonía que ofrecen un servicio al consumidor, pero que alquilan el acceso a las redes de los MNO. Algunos se especializan en el acceso temporal o internacional, mientras que otros se orientan hacia el IoT y la conectividad "máquina a máquina".

2. Organización técnica de los proveedores de servicios de Internet

2.1 Registros de Internet regionales (RIR)

Un RIR (Registro de Internet regional) es una organización sin ánimo de lucro encargada de asignar y gestionar los recursos de Internet en una zona geográfica determinada y, por lo tanto, los bloques de direcciones IP públicas (IPv4 e IPv6), así como un número de identificación denominado número de AS o ASN (*Autonomous System Number*) que permite identificar al propietario del bloque de direcciones, así como el enrutamiento de las direcciones del bloque en Internet.

Existen cinco RIR a nivel mundial que se reparten (de forma desigual) los bloques de direcciones.

RIR	Área de cobertura	Sede
RIPE NCC	Europa, Oriente Medio, Asia Central	Ámsterdam (Países Bajos)
ARIN	América del Norte	Estados Unidos
LACNIC	América Latina, Caribe	Uruguay
AFRINIC	África	Mauricio
APNIC	Asia y países del Pacífico	Brisbane (Australia)

Cinco registros regionales de Internet (RIR): nombre, zona y sede

El RIPE NCC es el RIR responsable de Europa, Oriente Medio y Asia Central. Una empresa situada en esta zona que desee obtener sus propios bloques de IP, se debe hacerse miembro del RIPE NCC y convertirse entonces en un LIR (*Local Internet Registry*). Puede consultar todos los detalles administrativos y técnicos en la página web del RIPE NCC: <https://www.ripe.net/>

2.2 Bloques de IP y número de AS (ASN)

Internet se puede ver como un conjunto de AS conectadas que se comunican a través de un protocolo de enrutamiento dinámico llamado BGP (*Border Gateway Protocol*). De este modo, se puede circular de un AS a otro, es decir, de un operador a otro, formando así una "red". Gracias al ASN, las rutas IP se intercambian entre operadores, lo que permite definir una frontera lógica entre redes (entre diferentes AS). Un operador o proveedor de servicios de Internet (ISP) puede tener varios ASN para diferentes filiales, redes o servicios.

2.3 Relaciones de enrutamiento de tráfico entre operadores: peering y tránsito

2.3.1 Relaciones de tránsito IP

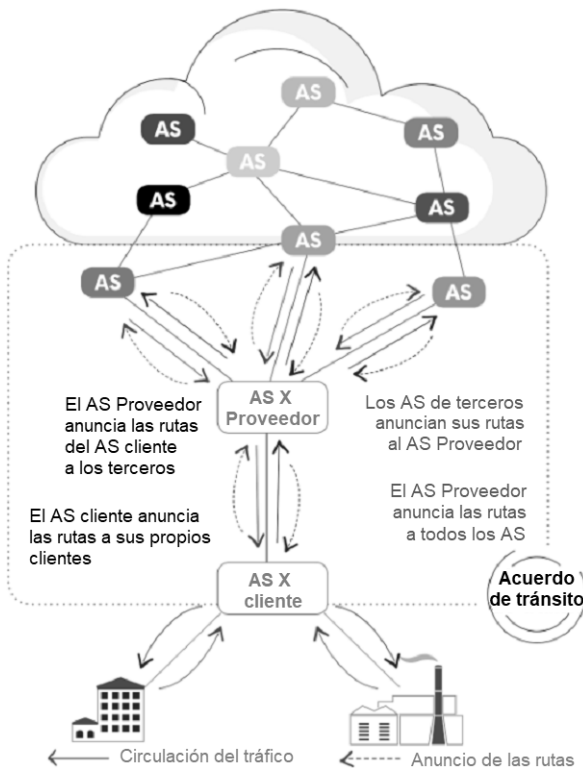
Internet es una red de redes autónomas. Cada operador (proveedor de acceso a Internet, proveedor de alojamiento, empresa, etc.) gestiona su propia red, pero para que los datos circulen entre los clientes de diferentes operadores, estos deben intercambiar tráfico entre sí. Aunque desde un punto de vista técnico esto es posible mediante BGP, el enrutamiento del tráfico tiene un cierto coste, por lo que los operadores dependen unos de otros y se establecen relaciones contractuales entre ellos. Estas relaciones permiten a los usuarios acceder a servicios alojados en otras redes, en función del tamaño de cada operador y de su papel en el ecosistema: operador de gran público, operador local u operador de operadores.

La relación más habitual se denomina relación de tránsito IP. El tránsito IP es un servicio comercial que un operador denominado "Transit Provider" vende a otro operador, generalmente de menor tamaño, para permitirle enviar y recibir tráfico hacia todo Internet. Un operador no puede conectarse directamente a todas las redes del mundo, por lo que compra tránsito IP a grandes actores del sector para llegar a otras redes internacionales. Sin estos acuerdos, sus abonados no podrían acceder a una parte de Internet. Esta relación de tránsito IP es de pago y suele facturarse por capacidad contratada, a menudo según el principio del percentil 95: se mide el tráfico entrante y saliente cada 5 minutos, cada mes se descarta el 5% que más consume y se factura el ancho de banda restante. También se pueden suscribir contratos de tarifa plana.

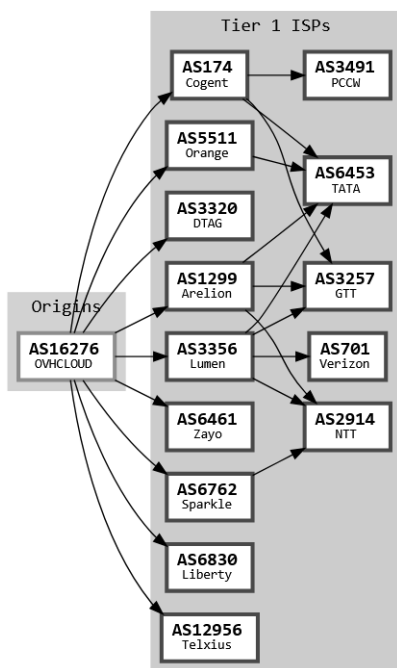
Observación

El tránsito IP es la base de las relaciones comerciales entre operadores locales y nacionales. Por lo general, todo operador se asegura de contar con, al menos, dos proveedores de tránsito para garantizar la resiliencia. Un operador puede comprar tránsito IP a un operador más grande y, al mismo tiempo, venderlo a un operador más pequeño.

PRINCIPIO DE UN ACUERDO DE TRÁNSITO



Principio del tránsito IP

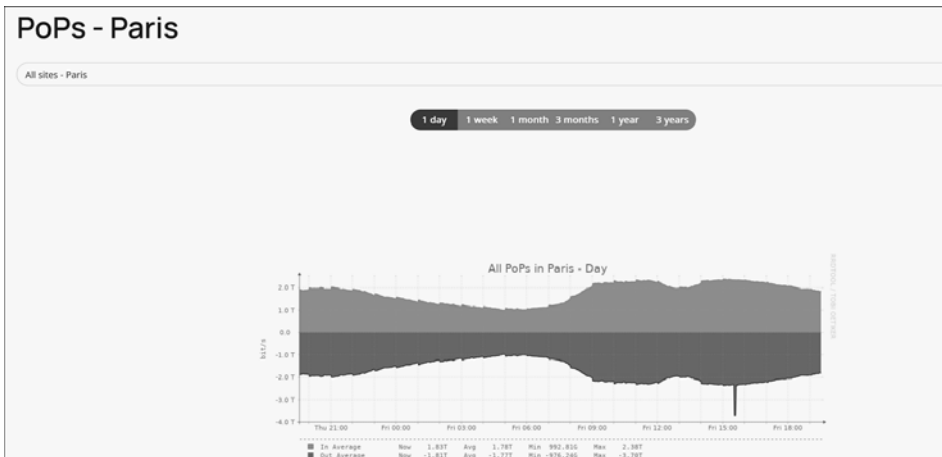


La empresa OVH es cliente de numerosos operadores de tránsito que, a su vez, son clientes de otros transitarios

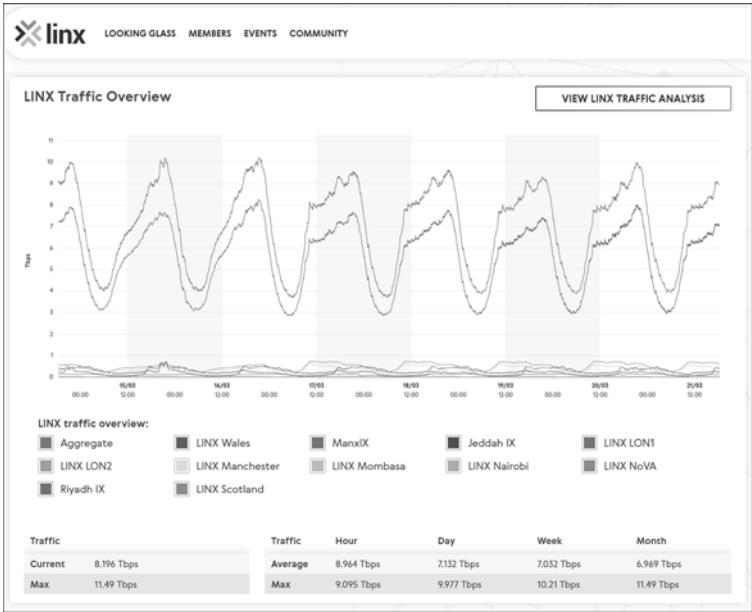
2.3.2 Relaciones de peering

El peering es un acuerdo de intercambio de tráfico de Internet entre dos redes (operadores AS) sin pasar por un tercero y, por lo tanto, en principio gratuito. En lugar de pasar cada uno por un proveedor de tránsito, operadores de tamaño equivalente (en términos de tráfico) deciden interconectarse directamente e intercambiar sus rutas y, por lo tanto, su tráfico. Imaginemos dos empresas de reparto en la misma ciudad. En lugar de enviar sus paquetes a través de una red nacional, establecen un punto de paso directo entre sus almacenes: es más rápido y más barato. Las ventajas del peering residen en que la latencia del tránsito de datos se reduce considerablemente (ruta más corta y menos routers intermedios), los costes de enrutamiento suelen ser gratuitos o de bajo coste, lo que al final supone un menor coste para el operador y una calidad mucho mejor para la conexión del usuario final.

El peering tiene lugar con mayor frecuencia en los IXP (*Internet Exchange Points*) que son puntos de intercambio de Internet ubicados normalmente en centros de datos o instalaciones técnicas seguras. En ellos se pone a disposición un conmutador y se asignan puertos a cada miembro (proveedores de servicios de Internet, proveedores de alojamiento, proveedores de contenidos, etc.). Entre los IXP europeos más importantes se encuentran AMS-IX (Ámsterdam), LINX (Londres), DE-CIX (Fráncfort) y otros puntos de intercambio nacionales o regionales.

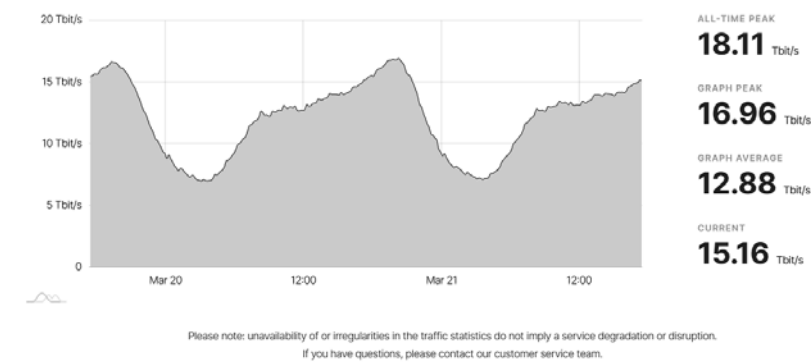


Curvas de tráfico en los puntos de intercambio parisinos FranceIX (<https://www.franceix.net/fr/>)



Curvas de tráfico en el punto de intercambio londinense LINX que superan los 10 Tbits de tráfico (<https://portal.linx.net/>)

Traffic Frankfurt – 2 days



Curvas de tráfico en el punto de intercambio más importante de Europa (DE-CIX), en Fráncfort, que superan los 15 Tbits de tráfico (<https://www.de-cix.net/>)

Cada miembro que establece una relación de peering (o de tránsito, ya que técnicamente es lo mismo) con otro miembro configura una sesión BGP con su par o pares. La sesión BGP permite el intercambio de rutas entre AS y, por lo tanto, el enrutamiento de datos entre los pares a través de este enlace.

También se puede establecer una relación de peering con otro par en un lugar común de nuestra elección a través de un switch cogestionado por los pares; en ese caso, se hablará de Peering privado, en contraposición al peering público en los IXP.

■ Observación

El sitio web <https://www.peeringdb.com> mantiene una base de datos pública y colaborativa, esencial para facilitar las interconexiones entre redes a escala mundial, especialmente en los puntos de intercambio de Internet y los centros de datos.

Por lo general, el peering es gratuito: dos operadores intercambian su tráfico sin costes si los intercambios son equilibrados. Pero en algunos casos, una de las dos redes presenta un fuerte desequilibrio o un gran poder de mercado, por ejemplo cuando un gran proveedor de contenidos genera un volumen muy importante de tráfico hacia los clientes de un proveedor de acceso. En este caso de asimetría total del tráfico, el peering puede pasar a ser de pago, ya que el operador considera que el proveedor de contenidos está utilizando una parte significativa de su capacidad de red.