Aprendizaje estructurado de protocolos de internet. Un método basado en un protocolo genérico

Carlos E. Gómez Montoya, Luis E. Sepúlveda Rodríguez, Juan S. Salazar Osorio

Universidad del Quindío
Armenia, Colombia

Resumen

Una comprensión amplia del funcionamiento de los protocolos de comunicación en Internet es fundamental para la formación de profesionales en ingeniería de sistemas, telecomunicaciones, electrónica y carreras afines. Estos protocolos establecen las reglas que rigen el intercambio de información entre dispositivos conectados a una red. En el contexto de Internet, la interacción entre múltiples protocolos, como IP, TCP, UDP, DNS y HTTP, organizados dentro del modelo TCP/IP, es esencial para garantizar una comunicación eficiente y confiable.

Cada protocolo define un encabezado, una estructura de datos que encapsula información esencial para el direccionamiento y control del tráfico de red. La información transmitida puede clasificarse en datos del usuario, identificación de los participantes e información de control. Sin embargo, la diversidad y complejidad de estos encabezados presentan un desafío significativo en los cursos universitarios de redes informáticas. Por ejemplo, el protocolo IP versión 4 cuenta con más de diez campos, cada uno con características específicas en cuanto a longitud, formato y significado. Los estudiantes deben familiarizarse con diferentes formatos numéricos (decimal, hexadecimal y binario), tablas con identificadores para representar datos, direcciones de origen y destino, así como representaciones en texto ASCII, lo que dificulta la apropiación del conocimiento y prolonga el proceso de aprendizaje.

La enseñanza tradicional de estos conceptos tiende a ser abstracta, lo que conlleva dificultades en la retención y aplicación del conocimiento. En este contexto, el presente trabajo reporta una experiencia innovadora en la enseñanza-aprendizaje de la estructura y encabezados de los principales protocolos de Internet. El método consiste en una estrategia didáctica basada en la introducción de un protocolo genérico que permite a los estudiantes familiarizarse con la manipulación de múltiples campos y formatos antes de abordar protocolos específicos. Esta estrategia facilita dos operaciones clave: la interpretación de secuencias de datos en notación

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4451

hexadecimal conforme a una especificación y la construcción de encabezados a partir de los valores de cada campo.

Los resultados han demostrado que este enfoque favorece un aprendizaje significativo y duradero. Una vez comprendido el protocolo genérico, los estudiantes pueden abordar con mayor facilidad y rapidez los protocolos de comunicación en Internet, promoviendo una asimilación profunda del conocimiento.

Desde el año 2023, esta estrategia ha sido implementada en el curso de Infraestructura de Comunicaciones del Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío, obteniendo resultados altamente satisfactorios. Además de fortalecer el dominio teórico, los estudiantes desarrollan habilidades analíticas fundamentales para la resolución de problemas en el ámbito de la comunicación de datos.

Esta estrategia tiene un alto potencial para ser replicada en otras instituciones de educación superior, permitiendo su adaptación a diversos contextos académicos y contribuyendo significativamente al mejoramiento del proceso de enseñanza de los protocolos de comunicación en redes computacionales.

Palabras clave: educación en ingeniería de redes informáticas; representación de datos en redes informáticas; encabezados de protocolos de internet; estrategias didácticas en ingeniería; aprendizaje de redes computacionales

Abstract

A comprehensive understanding of how Internet communication protocols work is essential for the training of professionals in systems engineering, telecommunications, electronics, and related careers. These protocols establish the rules governing the exchange of information between devices connected to a network. In the context of the Internet, the interaction between multiple protocols—such as IP, TCP, UDP, DNS, and HTTP—organized within the TCP/IP model, is crucial for ensuring efficient and reliable communication.

Each protocol defines a header, a data structure that encapsulates essential information for addressing and traffic control. The transmitted information can be classified into user data, participant identification, and control information. However, the diversity and complexity of these headers pose a significant challenge in university-level computer networking courses. For instance, the Internet Protocol version 4 includes more than ten fields, each with specific characteristics in terms of length, format, and meaning. Students must become familiar with different numerical formats (decimal, hexadecimal, and binary), tables with identifiers for data representation, source and destination addresses, as well as ASCII text representations. This complexity makes knowledge acquisition more difficult and prolongs the learning process.

Traditional teaching of these concepts tends to be abstract, leading to difficulties in knowledge retention and application. In this context, this study reports an innovative teaching-learning

experience regarding the structure and headers of the main Internet protocols. The method consists of a teaching strategy based on the introduction of a generic protocol that allows students to become familiar with handling multiple fields and formats before addressing specific protocols. This strategy facilitates two key operations: interpreting data sequences in hexadecimal notation according to a given specification and constructing headers based on field values.

The results have shown that this approach promotes meaningful and lasting learning. Once students understand the generic protocol, they can approach Internet communication protocols more easily and quickly, fostering a deeper knowledge assimilation.

Since 2023, this strategy has been implemented in the Communications Infrastructure course of the Systems and Computing Engineering Program at Universidad del Quindío, yielding highly satisfactory results. In addition to strengthening theoretical knowledge, students develop essential analytical skills for problem-solving in the field of data communications.

This strategy has a high potential for replication in other higher education institutions, allowing its adaptation to various academic contexts and significantly contributing to the improvement of the teaching process of communication protocols in computer networks.

***Keywords**: education in computer network engineering; data representation in computer networks; internet protocol headers; didactic strategies in engineering; learning in computer networks*

1 Introducción

El conocimiento avanzado sobre infraestructura de comunicaciones es esencial para los profesionales en ingeniería de sistemas y carreras afines. Internet es una red de cobertura mundial conformada por millones de redes interconectadas, que permiten la participación de una amplia variedad de dispositivos. Dada la heterogeneidad de los componentes que conforman Internet, se requiere el uso de protocolos de comunicación estandarizados, como IP, TCP, UDP, DNS y HTTP, organizados funcionalmente de acuerdo con el modelo de referencia TCP/IP (Kurose & Ross, 2020).

Un protocolo de comunicaciones es el conjunto de reglas que determinan la forma como se comunican los dispositivos en una red informática. Las partes que se comunican intercambian paquetes cuya estructura y formato están especificados en el protocolo que están utilizando. La estructura de un paquete define un conjunto de datos agrupados en el encabezado, el cual está formado por una secuencia de campos en un orden específico. Cada campo tiene longitud, formato y significado. El formato de cada campo debe ser preciso para que las partes que se comunican puedan realizar una correcta interpretación de la información enviada y recibida (Kurose & Ross, 2020; Tanenbaum, Feamster & Wetherall, 2021). En un encabezado se almacenan los datos necesarios para la comunicación, los cuales se pueden clasificar en: (1) información generada por el usuario, (2) identificación de los participantes y (3) información de control, empleada para la entrega de los paquetes y verificación de errores, entre otros.

Por ejemplo, el encabezado de un datagrama IP versión 4 (IPv4) incluye las direcciones IP origen y destino para identificar los participantes de la comunicación; longitud del encabezado y del datagrama; suma de comprobación; y campos para una correcta reconstrucción de fragmentos cuando el datagrama atravesa redes intermedias con capacidad insuficiente (Peterson & Davie, 2022). Este encabezado también incluye el campo tiempo de vida del fatagrama, un campo de servicios diferenciados (para solicitar tratamiento especial durante su enrutamiento) y el campo protocolo de nivel superior (identifica la información que va en el campo de datos del datagrama).

Cada uno de estos campos se expresa con una longitud y un formato determinados para almacenar cada dato. En cuanto a la longitud, puede ir desde un solo bit hasta varios bytes. Con respecto al formato, se emplean valores numéricos en decimal o hexadecimal, campos compuestos por subcampos, identificadores que hacen referencia a tablas estandarizadas, campos con diferentes unidades de medida, y también campos cuyo contenido es el resultado de la ejecución de un algoritmo, como en el caso de la suma de comprobación. El protocolo IPv4 también define algunos campos para la implementación de conceptos necesarios dentro del protocolo, como es el caso del tiempo de vida, medido en saltos de enrutamiento. Cabe destacar que los distintos protocolos del modelo TCP/IP definen sus propios encabezados, con formatos específicos según su propósito funcional (Tanenbaum et al., 2021).

Conocer en detalle los protocolos de comunicación en Internet es una habilidad fundamental y diferenciadora en el desempeño profesional, ya que comprende el funcionamiento subyacente de herramientas especializadas como Wireshark (Wireshark Foundation, 2025) y Tcpdump (Jacobson et al., 2025) para el análisis detallado del tráfico de red. Este conocimiento avanzado facilita la inspección minuciosa de los encabezados de protocolos de Internet como Ethernet, IP, ICMP, TCP y UDP, entre otros. De este modo, es posible hacer seguimiento a las conexiones TCP o detectar la pérdida de paquetes, verificar si la fragmentación de datagramas IP se realiza correctamente, identificar la transmisión de información sensible en texto claro, o comprobar si una aplicación está construyendo correctamente los encabezados para la transmisión de datos (Peterson & Davie, 2022).

En un proceso de formación profesional, se espera que los estudiantes comprendan la estructura de cada protocolo, puedan interpretar diagramas que muestren los campos de cada encabezado, y desarrollen habilidades de análisis, aun cuando no se aborde completamente cada uno de los campos que los componen. Sin embargo, la realidad es muy distinta. El proceso de enseñanza-aprendizaje de los protocolos de comunicación en Internet representa un desafío tanto para estudiantes como para profesores, debido principalmente a que son múltiples protocolos, cada uno con aspectos teóricos particulares y una variedad de formatos y detalles técnicos que se deben considerar. Además, la cantidad de contenidos es extensa por lo que generalmente hay temas importantes que se analizan de manera superficial y otros simplemente son descartados.

Considerando lo anterior, este trabajo presenta un reporte de experiencia en el aula en el que se propone una estrategia didáctica innovadora basada en la utilización de un protocolo genérico, diseñado para facilitar a los estudiantes la interpretación de encabezados similares a los que se emplean en los protocolos de comunicación de Internet. La estrategia inicia con encabezados sencillos, compuestos por pocos campos e introduce progresivamente distintos formatos, hasta

llegar a los protocolos estandarizados utilizados en Internet. La estrategia se compone de las siguientes seis actividades fundamentales: (1) Identificar el encabezado de un paquete, (2) Identificar los campos de un encabezado, (3) Analizar encabezados; (4) Construir encabezados; (5) Construir la especificación de un protocolo genérico; y (6) Protocolos de comunicación en Internet. Al trabajar inicialmente con un protocolo simplificado, los estudiantes desarrollan habilidades analíticas de manera paulatina, sin la sobrecarga cognitiva que implica el estudio simultáneo de aspectos teóricos y protocolos complejos. Una vez dominado el protocolo genérico, la transición hacia los protocolos reales resulta mucho más fluida y efectiva, lo que conduce a un conocimiento de largo plazo.

Desde el período académico 2023-1, esta metodología se ha venido desarrollando en el curso de Infraestructura de Comunicaciones del Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío. De la misma forma como se propone, así ha sido su evolución: de manera progresiva. Los resultados han sido altamente satisfactorios, reflejados en un mejor desempeño de los estudiantes en evaluaciones, así como en una mayor confianza para abordar problemas de comunicación de datos.

2 Modelo de referencia TCP/IP: Protocolos y unidades de datos

El modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) es el marco de referencia fundamental para la comunicación de datos en Internet. Este modelo define cómo los datos deben ser segmentados, transmitidos, direccionados y entregados correctamente entre los dispositivos conectados a una red (Kurose & Ross, 2020). El modelo TCP/IP se organiza en cuatro capas, cada una con funciones específicas en el proceso de transmisión de datos. La capa de aplicación facilita la comunicación entre aplicaciones. La capa de transporte gestiona la comunicación entre procesos mediante puertos. La comunicación puede ser fiable, usando el protocolo TCP o no fiable usando el protocolo UDP. La capa de internet se encarga del direccionamiento IP y la creación y el enrutamiento de datagramas. Finalmente, la capa de acceso a la red es responsable de la transmisión física de los datos.

Cada capa del modelo TCP/IP define una unidad de datos de protocolo (Protocol Data Unit – PDU), también conocida como paquete. Esta unidad consta de dos partes: El encabezado (header) que contiene la información de control necesaria para el protocolo y el campo de datos o carga útil (payload) que lleva la Información que se desea transmitir.

Un encabezado es una de las dos partes de un paquete. Contiene la información necesaria para su correcta transmisión, procesamiento y entrega. Haciendo una analogía con la vida real, la información de encabezado en el envío de correspondencia a través del correo postal sería el destinatario, la dirección de destino, el remitente, etc. En el contexto de Internet, hay múltiples protocolos distribuidos en las diferentes capas. Cada encabezado está formado por campos de diferentes tamaños, con información específica.

A modo de ilustración, considere el formato del protocolo IPv4, el cual se puede ver en la Tabla 1. Una secuencia, similar a la siguiente, 4500004cf0b8000080110000c0a80a0bbe9d0821 es un

ejemplo de un encabezado de un datagrama IPv4, donde cada dígito hexadecimal representa cuatro bits, por lo tanto, un byte se representa mediante dos dígitos hexadecimales.

Tabla 1. Campos en el encabezado de un datagrama IPv4 (Postel, J., 1981)

Campo y longitud	**Descripción**
Versión: 4 bits	Indica la versión del protocolo. Para IPv4, este valor es 4.
Longitud del encabezado: 4 bits	Indica la longitud del encabezado. Expresado en palabras de 32 bits (4 bytes). Generalmente es 5 que equivale a 20 bytes.
Servicios Diferenciados: 8 bits	Se divide en dos campos, DSCP (Nichols, K. et al, 1998) y ECN (Ramakrishnan, K., et al, 2001).
Longitud total: 16 bits	Incluye tanto el encabezado como los datos. Expresado en bytes.
Identificación: 16 bits	Información utilizada en la fragmentación del datagrama cuando su tamaño supera la MTU (Maximum Transmission Unit) de una red intermedia de capacidad menor que el tamaño del datagrama.
Flags: 3 bits	
Desplazamiento: 13 bits	
Tiempo de vida (Time to Live – TTL): 8 bits	Establece el número máximo de enrutadores que puede atravesar un datagrama antes de llegar a su destino.
Protocolo de nivel superior: 8 bits	Identifica la información que lleva en el campo de datos, de acuerdo con el el protocolo de la siguiente capa (Reynolds, J., & Postel, J., 1981).
Suma de comprobación: 16 bits	Permite identificar errores en el encabezado (Sklower, K. et al., 1989).
Dirección IP origen: 32 bits	Identifican de manera única los participantes de la comunicación.
Dirección IP destino: 32 bits	

La interpretación de un datagrama IPv4 no es trivial. Cada campo tiene nombre, longitud en bits, formato y significado. Hay campos con un byte de longitud; campos que ocupan un bit, campos compuestos que ocupan un múltiplo de ocho bits, internamente formados por subcampos, cada uno con unos pocos bits de longitud, y hay otros campos se representan mediante múltiples bytes. Algunos campos se interpretan fácilmente, mientras que otros son más complejos. El protocolo IPv4 incluye en sus diferentes campos, números enteros en formato decimal, hexadecimal y binario. También maneja diferentes unidades de medida, campos que se refieren a identificadores cuyo significado se encuentra en una tabla que hace parte del protocolo y campos que incluyen la ejecución de un algoritmo para determinar su valor (Tanenbaum et al, 2021). Como se puede observar, la variedad de formatos en los campos del protocolo IPv4 es solo un ejemplo de la complejidad técnica en la estructura de los encabezados de los protocolos TCP/IP. Esta complejidad exige del estudiante no solo conocimientos teóricos, sino también habilidades para la interpretación detallada de estructuras de datos que obedecen a estándares estrictos definidos en documentos estandarizados como los RFC (Request For Comments).

Esta diversidad de formatos, sumada a la necesidad de comprender procesos como la encapsulación, la fragmentación, y el manejo de opciones avanzadas, puede dificultar la apropiación de conceptos fundamentales. Para el docente, este escenario plantea el reto de diseñar estrategias didácticas que permitan abordar la complejidad técnica sin perder de vista la comprensión global del modelo de red, promoviendo una formación sólida y aplicable en contextos reales. En la Tabla 1 se hace una breve descripción de los campos incluidos en el encabezado del datagrama IPv4.

3 Estrategia didáctica para la enseñanza de un protocolo genérico

La estrategia, de seis pasos, consiste en introducir al estudiante de manera progresiva en la forma como se crean los paquetes de datos, tales como los que se utilizan en redes TCP/IP. Para este propósito se crea un protocolo genérico, es decir, una secuencia de campos con su longitud y formato, para facilitar su comprensión y permitir el aprendizaje significativo y de largo plazo.

Paso 1: Identificar el encabezado de un paquete. El estudiante tendrá a disposición **un paquete de datos** expresado en dígitos hexadecimales y **la especificación de un protocolo**, la cual incluye el nombre del protocolo y la longitud del encabezado. Como resultado, el estudiante obtendrá **el encabezado** expresado en dígitos hexadecimales. En la Figura 3 se pueden apreciar un paquete de datos, la especificación de un protocolo y el encabezado resultante.

Figura 3. Paso 1: Identificar el encabezado de un paquete

```
Paquete de datos: 5072696d6572206ec3ba6d65726f3a2032333c62723e5365
Especificación del protocolo:
    Nombre del protocolo: PR-01
    Longitud del encabezado: 4 bytes
```

Resultado: La secuencia de dígitos hexadecimales 5072696d corresponde al encabezado del paquete.

Paso 2: Identificar los campos de un encabezado. El estudiante tendrá a disposición **un encabezado** expresado en dígitos hexadecimales y **la especificación de un protocolo**, la cual incluye una secuencia de campos, cada uno con el nombre y la longitud en bits. Como resultado, el estudiante obtendrá **la secuencia de campos**, cada uno con su respectivo **valor expresado en hexadecimal o binario**, según sea el caso. En la Figura 4 aparece un encabezado de 4 bytes y la especificación de cuatro campos con longitudes diferentes, las dos primeras expresadas en hexadecimal y otras dos expresadas en binario.

Figura 4. Paso 2: Identificar los campos de un encabezado

```
Encabezado: 5072696d                                  Nombre campo: Campo2
Especificación del protocolo:                         Longitud: 8 bits
    Nombre del protocolo: PR-02                       Nombre campo: Campo3
    Longitud del encabezado: 4 bytes                  Longitud: 5 bits
        Nombre campo: Campo1                          Nombre campo: Campo4
        Longitud: 16 bits                             Longitud: 3 bits
```

Resultado: Este encabezado tiene los siguientes campos y valores: **Campo1:** 5072, **Campo2:** 69, **Campo3:** 01101 y **Campo4:** 101. Los campos 1 y 2 tienen una longitud múltiplo de 8 bits y se pueden expresar en hexadecimal, a diferencia de los campos 3 y 4 que se deben expresar en binario, de acuerdo con su longitud.

Paso 3: Analizar encabezados. El estudiante tendrá a disposición **un encabezado** expresado en dígitos hexadecimales y **la especificación de un protocolo**, la cual incluye una secuencia de campos, cada uno con el nombre, la longitud en bits y el formato. Como resultado,

el estudiante obtendrá **la secuencia de campos**, cada uno con su respectivo **valor expresado en el formato correspondiente**. Observe el ejemplo de la Figura 5. **Campo1** corresponde a una dirección IPv4 notación decimal; **Campo2** es un texto que se debe buscar en la Tabla ASCII para determinar la equivalencia entre los códigos hexadecimales y los símbolos correspondientes y **Campo3** utiliza un identificador de la **Tabla01**.

Resultado: Este encabezado tiene los siguientes campos y valores: **Campo1:** 192.168.10.15, **Campo2:** MG, **Campo3:** Mensaje de solicitud.

Los formatos disponibles para usar en los encabezados del protocolo genérico se pueden ver en la Tabla 2.

Figura 5. Paso 3: Analizar encabezados

```
Encabezado: c0a80a0f4d4701
Especificación del protocolo:
    Nombre del protocolo: PR-03
    Longitud del encabezado: 7 bytes
        Nombre campo: Campo1
        Longitud: 32 bits
        Formato: Dirección IPv4 notación decimal
        Nombre campo: Campo2
        Longitud: 16 bits
        Formato: Texto ASCII
        Nombre campo: Campo3
        Longitud: 8 bits
        Formato: Tabla, Tabla01

Tabla01
    Id: 01
    Valor: Mensaje de solicitud
    Id: 02
    Valor: Mensaje de respuesta
```

Tabla 2. Formatos empleados en el protocolo genérico

Formato	**Formato**	**Formato**
Números enteros decimales (base 10)	Direcciones IPv4	Identificadores de tabla
Números enteros hexadecimales	Direcciones IPv6	Parejas atributo-valor
Indicadores (flags)	Direcciones MAC	Listas enlazadas
Texto ASCII	Contador descendente	Aplicación de un algoritmo

Paso 4: Construir encabezados. El estudiante tendrá a disposición la **especificación de un protocolo**, la cual incluye una secuencia de campos, cada uno con el nombre, la longitud en bits y el formato. El estudiante podrá asignar el valor a cada campo, de acuerdo con el formato y hará las conversiones necesarias para obtener el valor del campo en binario o hexadecimal, según sea el caso.

Figura 6. Paso 4: Construir encabezados

```
Especificación del protocolo:
    Nombre del protocolo: PR-04
    Longitud del encabezado: 4 bytes
        Nombre campo: Campo1
        Longitud: 8 bits
        Formato: Número entero decimal
        Nombre campo: Campo2
        Longitud: 24 bits
        Formato: Número entero hexadecimal
```

El estudiante puede utilizar el protocolo especificado, como el de la Figura 6. Por ejemplo, puede asignar los siguientes valores: **Campo1:** 200 (hexadecimal **c8**) y **Campo2:** 90f534, para obtener el encabezado c890f534.

Paso 5: Construir la especificación de un protocolo genérico. El estudiante podrá crear nuevas propuestas de protocolos a partir de la agrupación de campos. Podrá elegir la cantidad de campos, la longitud y el formato de cada uno de ellos. Como resultado, el estudiante obtendrá **la especificación de su protocolo**. En el ejemplo de la Figura 7, se pueden ver tres campos: Código, Dirección MAC destino y Puerto destino, cada uno con su longitud, medida en bits y un formato especificado, para un encabezado de 8 bytes.

Figura 7. Paso 5: Construir la especificación de un protocolo genérico

Especificación del protocolo:
- Nombre del protocolo: G-01
- Longitud del encabezado: 8 bytes
  - Nombre campo: Código
  - Longitud: 8 bits
  - Formato: Texto ASCII
  - Nombre campo: Dirección MAC destino
  - Longitud: 48 bits
  - Formato: Dirección MAC
  - Nombre campo: Puerto destino
  - Longitud: 8 bits
  - Formato: Número entero decimal

Paso 6: Protocolos de comunicación en Internet. El estudiante podrá utilizar los pasos 3 y 4 para analizar y construir encabezados correspondientes a los protocolos de comunicación en Internet. No es necesario iniciar con todos los campos de un protocolo, sino que se puede ir de manera progresiva para facilitar su comprensión. En el ejemplo de la Figura 8, se puede ver cómo se analizan los primeros 4 bytes de un datagrama IPv4. En este caso, el estudiante tiene a disposición **un encabezado** de 4 bytes expresado en dígitos hexadecimales y **la especificación de un protocolo de comunicación en Internet** (una parte del protocolo IPv4). Esta especificación incluye una secuencia de campos, cada uno con el nombre, la longitud en bits y el formato y un espacio para agregar observaciones o información adicional. Como resultado, el estudiante obtendrá **la secuencia de campos**, cada uno con su respectivo valor expresado en el formato correspondiente.

Figura 8. Paso 6: Analizar encabezados de los protocolos de comunicación en Internet

Encabezado: 4500004c
Especificación del protocolo:
- Nombre del protocolo: Protocolo IPv4
- Longitud del encabezado: 4 bytes
  - Nombre campo: Versión
  - Longitud: 4 bits
  - Formato: Número entero decimal
  - Observaciones: Ninguna
  - Nombre campo: Longitud del encabezado
  - Longitud: 4 bits
  - Formato: Número entero decimal
  - Observaciones: Medido en palabras de 32 bits
  - Nombre campo: Servicios diferenciados
  - Longitud: 8 bits
  - Formato: Número entero hexadecimal
  - Observaciones: Campo compuesto. Mantener en 0.
  - Nombre campo: Longitud total
  - Longitud: 12 bits
  - Formato: Número entero decimal
  - Observaciones: Medido en bytes

Observe que el protocolo IPv4 no está completo. En este caso, la especificación incluye solo los primeros 4 bytes, entre ellos, un campo que se deja para una explicación posterior. También se podría crear una secuencia con algunos formatos, no necesariamente conservando el orden establecido en el protocolo.

4 Reporte de experiencia

Desde el año 2023 se ha venido construyendo la estrategia didáctica en el espacio académico Infraestructura de Comunicaciones de VI semestre del programa de pregrado en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío, en Armenia – Colombia. En su primera

versión, el objetivo era identificar los campos del datagrama IPv4. Como estrategia, el primer paso era extraer algunos campos del encabezado de este protocolo, analizando el datagrama como un array de 20 bytes con las posiciones 0 a la 19. Se inició con solo tres formatos: número enteros decimales, números enteros hexadecimales y direcciones IPv4. Entonces, recibiendo como entrada el encabezado en hexadecimal, la posición inicial de un campo y su longitud en bytes, se podía obtener cualquier campo, inicialmente en hexadecimal o convirtiendo su valor, se podía tener en decimal o como una dirección IPv4. Para el año 2024 se introdujeron tres cambios importantes: el uso de encabezados de pocos campos, diferentes maneras de interpretar un encabezado y un conjunto más amplio de formatos, dando lugar al protocolo genérico. Se agregaron el texto ASCII, direcciones MAC y flags (con espacio para bits reservados). En 2025 se ha incorporado el concepto de especificación del protocolo genérico y se ha ampliado el conjunto de formatos a los incluidos en la Tabla 2.

Con base en la experiencia académica en la Universidad del Quindío, los resultados han sido muy exitosos. Los estudiantes han pasado de considerar el análisis de los protocolos de comunicación en Internet como un tema muy difícil de entender a verlo como un tema que requiere un esfuerzo razonable que les permite fortalecer el dominio teórico y desarrollar habilidades analíticas fundamentales orientadas a la resolución de problemas. Los estudiantes del curso Infraestructura de Comunicaciones han desarrollado proyectos de aplicación orientados a la construcción y lectura de encabezados, siguiendo la especificación de un protocolo genérico.

5 Enfoque tradicional en la enseñanza de los protocolos de comunicación en Internet

Los protocolos de comunicación en Internet son un componente esencial en los cursos universitarios de infraestructura de comunicaciones. Tradicionalmente, el proceso de enseñanza-aprendizaje se realiza con base en dos aspectos fundamentales: (1) un componente teórico que describe las características de los protocolos, y (2) los diagramas que muestran los encabezados con cierto nivel de detalle. Este enfoque se puede ver en libros clásicos con alto reconocimiento en la educación universitaria (Kurose & Ross, 2020, Tanenbaum et al., 2021).

Por otra parte, existen herramientas de software denominadas *packet sniffers*, las cuales permiten capturar y examinar los paquetes entrantes y salientes que están en el alcance de una interfaz de red conectada a un host. Para su funcionamiento, estas herramientas obtienen una copia de los frames de la capa de acceso a la red. En entornos académicos y empresariales se utilizan principalmente Tcpdump (Jacobson et al., 2025), a través de la línea de comandos y Wireshark (Wireshark Foundation, 2025) como una aplicación gráfica para realizar análisis visuales con más nivel de detalle. Estas herramientas se usan para fortalecer conocimientos de distintos protocolos de comunicación en Internet y se pueden utilizar para el análisis de tráfico de red en tiempo real o examinar capturas almacenadas en archivos para su análisis en prácticas académicas.

6 Conclusiones

La enseñanza de los protocolos de comunicación en Internet es un desafío importante en los programas de formación de profesionales en ingeniería de sistemas, telecomunicaciones, electrónica y carreras afines. A pesar contar con una metodología tradicionalmente establecida para la enseñanza de estos protocolos, en la práctica los estudiantes enfrentan dificultades en la apropiación de este conocimiento, específicamente por la complejidad de los encabezados de las diferentes PDU, la variedad de formatos y, en algunos casos, la ejecución de procesos algorítmicos.

La experiencia de aula reportada muestra que aunque el enfoque tradicional en la enseñanza se ha utilizado por años, no puede garantizar que los estudiantes adquieran una comprensión amplia del funcionamiento de los protocolos de comunicación en Internet ni desarrollar las habilidades prácticas necesarias para la aplicación de estos conceptos en entornos reales. Por lo tanto, es necesario explorar otros estrategias didácticas que faciliten la conexión entre la teoría y la práctica, para fortalecer el desarrollo de competencias profesionales en redes informáticas.

7 Referencias

- Braden, R. (1989). RFC 1122 – Requirements for Internet Hosts – Communication Layers. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1122. https://doi.org/10.17487/rfc1122
- Jacobson, V., Leres, C., & McCanne, S. (2025, Abril). The Tcpdump Manual Page. Lawrence Berkeley National Laboratory. Consultado en abril 16 de 2025 en https://www.tcpdump.org/.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2020). Computer Networking: A Top-Down Approach (8th ed.). Pearson. pp. 764.
- Nichols, K., et al. (1998). RFC 2474 – Definition of the Differentiated Services Field. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474.
- Peterson, L. L., & Davie, B. S. (2022). Computer networks: A systems approach (6th ed.). Morgan Kaufmann. pp. 817.
- Postel, J. (1981). RFC 791 – Internet Protocol. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc791. https://doi.org/10.17487/rfc0791
- Ramakrishnan, K., Floyd, S., & Black, D. (2001). RFC 3168 – The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN). https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3168. https://doi.org/10.17487/rfc3168
- Reynolds, J., & Postel, J. (1981). RFC 790 – Assigned Numbers. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc790.
- Sklower, K., et al. (1989). RFC 1071 – Computing the Internet Checksum. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1071.
- Tanenbaum, A., Feamster, N. & Wetherall, D. (2021). Computer Networks. (6th ed.). Pearson. pp. 1509.
- Wireshark Foundation. (2025, abril). Wireshark User's Guide. Consultado en abril 16 de 2025 en https://www.wireshark.org/.

Sobre los autores

- **Carlos Eduardo Gómez M.**, Doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes. Profesor Titular Universidad del Quindío. carloseg@uniquindio.edu.co
- **Luis Eduardo Sepúlveda R.**, Doctor en Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Pereira. Profesor Asociado Universidad del Quindío. lesepulveda@uniquindio.edu.co
- **Juan Sebastián Salazar O.**, Especialista en Gerencia de Proyectos de la Universidad Pontificia Bolivariana. Estudiante de Maestría en Ingeniería de la Universidad del Quindío. Profesor Asistente Universidad del Quindío. jssalazar@uniquindio.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)