

# Internet Interplanetaria

## Red de comunicación espacial

Darlene Ramsey, estudiante

Ing. Federico Jaén

Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales  
Universidad Tecnológica de Panamá

*“Ha llegado el momento de pensar más allá de la Tierra, tenemos que llevar la Internet a cualquier rincón del sistema solar, incluso más lejos...”: Vinton Cerf (Co-inventor del protocolo TCP/IP y “Padre de la Internet”).*

**Resumen-** La Internet es una red de redes, es decir, un conjunto de equipos (activos y pasivos) y tecnologías de red que nos permite el intercambio de información en cualquier parte del mundo; pero ¿alguna vez pensaron que el uso de la Internet se extendería más allá de la Tierra?, seguro que no, pero el desarrollo de las Tecnologías de Información y Comunicaciones ha motivado su expansión. En este artículo estaremos dando a conocer los principales detalles que implica el proyecto Internet Interplanetaria, los requerimientos básicos, los retos que ha tenido que enfrentar, pero sobre todo, la arquitectura de red que está siendo empleada para su funcionamiento, esperando con ello presentar una idea más clara sobre la importancia de la extensión de la Internet en el espacio.

**Palabras Claves-** IPN, DTN, IPNSIG, DTNRG, Internet.

### 1. Introducción

Hoy en día, se habla mucho de la Internet y sus múltiples beneficios, pero nadie se ha puesto a pensar en cómo sería tener acceso a Internet en el espacio, incluso algunos lo ven como algo imposible. Sin embargo, esto ya es una realidad, ya que el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL - Jet Propulsion Laboratory) lleva años trabajando en un proyecto denominado Internet Interplanetaria (IPN - Interplanetary Internet) [1], el cual consiste en permitir a un grupo de nodos en el espacio comunicarse entre sí a través de Internet, tal como se muestra en la Figura 1. Los científicos preocupados por el desarrollo de este proyecto y Vinton Cerf, fundaron el Grupo de Interés Especial Interplanetario de la Sociedad de Internet (IPNSIG- Interplanetary Special Interest Group of the Internet Society) [2] con el objetivo de trabajar en los aspectos técnicos necesarios para su funcionamiento.

### 2. Internet Interplanetaria

La idea de una Internet Interplanetaria surgió por la necesidad de finalizar con los elevados retrasos que presentan las comunicaciones espaciales debido a las siguientes razones:

- **Distancia:** Mientras más nos movemos hacia el espacio, el retardo es más grande, porque las señales deben viajar millones de kilómetros entre el emisor y el receptor.
- **Obstrucción de la línea de vista:** Cualquier objeto que se



Figura 1. Internet Interplanetario

interponga entre la señal del emisor y el receptor puede interrumpir la comunicación.

- **Peso:** Aunque antenas de alto rendimiento pueden mejorar de manera significativa la comunicación, estas suelen ser demasiado pesadas para ser enviadas en una misión espacial.

La ejecución del proyecto IPN no es tan fácil como parece, debido a que se deben afrontar ciertos problemas que de una u otra forma afectan la comunicación. Entre los principales problemas están: alta tasa de errores, retardos grandes y variables, canales de datos asimétricos y la conectividad intermitente por la rotación de la Tierra y el movimiento de los nodos a través del espacio.

Todos estos problemas están siendo estudiados a profundidad por el grupo IPNSIG, y ellos han llegado a la conclusión de la necesidad de implementar una Red Tolerante a Fallos (DTN- Disruption Tolerant Network) [3], por lo que poco después de que se creara este grupo, se funda otro llamado Grupo de Investigación de la Red Tolerante a Fallos (DTNRG- Disruption Tolerant Network Research Group) [4] encargado de la arquitectura y los protocolos que permitirán la comunicación e interoperabilidad en ambientes donde no se puede asumir una conectividad continua.

### 3. Requerimientos Básicos

Entre los componentes básicos para el funcionamiento de la IPN se tienen:

**Deep Space Network (DSN):** Esta red está formada por tres antenas ubicadas en California (Estados Unidos), Madrid (España) y Canberra (Australia). Estas antenas actuarán como gateways, y serán apuntadas directamente al planeta Marte interactuando también con la constelación de satélites.

**Constelación de Satélites:** Estos satélites estarán ubicados en la órbita baja de la Tierra y servirán para brindar una conexión tiempo completo a nivel regional. También se cuenta con un satélite más grande llamado Satélite de Retransmisión Geostacionaria Marciana (MARSAT- Mars Aerostationary Relay Satellite), el cual se encarga de recolectar toda la información proveniente de los satélites y sondas espaciales para posteriormente reenviarla a la Tierra.

**Protocolo de Red Tolerante a Fallos (DTN) [5]:** Con una nueva arquitectura, también surge un nuevo protocolo y este es básicamente el núcleo de esta red.

En el espacio existen muchos tipos de dispositivos, cada uno de ellos cumpliendo una misión específica, pero si alguno de ellos quisiera comunicarse con otro, sería prácticamente imposible por la carencia de un estándar sobre el cual basar las comunicaciones espaciales. Por otro lado, un grupo de operadores debe programar manualmente los enlaces de comunicación necesarios para decidir qué datos enviar, donde enviarlos y cuando hacerlo. Con un protocolo, todos estos procesos se podrán ejecutar de manera automática. Sin embargo, el Protocolo de Control de Transmisión/ Protocolo de Internet, mejor conocido como TCP/IP, es inapropiado para su funcionamiento en el espacio debido a que es incapaz de determinar si un paquete alcanza o no a su destino, ya que este asume que siempre el medio está disponible, de manera que, si una ruta no puede ser encontrada, el paquete es descartado automáticamente. Otra de las supuestas de este protocolo es que todos los dispositivos y redes soportan el protocolo TCP/IP, cuando esto no siempre se cumple, ya que en el espacio existen muchos tipos de redes, como por ejemplo, las redes de satélites o las de sensores, entre otras; cada una de ellas con diferentes tipos de protocolos.

Estas son algunas de las razones por las cuales fue necesario el desarrollo del protocolo DTN, el cual garantiza que el paquete llegue a su destino mediante el mecanismo de almacenamiento y reenvío, lo que significa que si la comunicación es interrumpida en algún punto entre el emisor y el receptor, el paquete no se pierde; en lugar de ello, se almacena hasta que el medio esté disponible. Esto sería muy similar a un juego de baloncesto en el que cada jugador le pasa la pelota al jugador más cercano a la canasta, explica el científico Leigh Torgerson (administrador del Centro de Operaciones Experimentales de DTN de la NASA).

El protocolo DTN también actuará como traductor, es decir, se encargará de reemplazar los protocolos utilizados por la región A, ubicada en un área en la superficie de la Luna, por los correspondientes utilizados en la región B, ubicada en la superficie de Marte. Una región, es una zona donde las características de red son las mismas. Por esta razón, a diferencia de la Internet Terrestre, la cual es considerada una red de redes, la Internet Interplanetaria es más bien un conjunto de redes de Internet regionales.

## 4. Arquitectura DTN

A continuación se indican los componentes básicos que conforman la arquitectura de la red:

**Capa de Mensaje (Bundle Layer):** Esta es la capa donde trabaja el protocolo DTN el cual estará ubicado entre la capa de Aplicación y la Capa de Transporte, de acuerdo al Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI). Las unidades de datos transportados en esta capa reciben el nombre de bundle, y está compuesta por los datos de la aplicación, la información de control que suministra la aplicación para la aplicación destino y la cabecera que es insertada por el mismo protocolo DTN cuyos mensajes suelen ser largos.

El proceso de enrutamiento de la red, sería muy similar al "juego de la papa caliente", el cual consiste en entregar rápidamente el paquete al siguiente nodo, pero en este caso, se introduce la condición que sea al nodo más cercano; así, aparece la interrogante ¿cómo saber cuál es el nodo más cercano?

**Nodos:** En esta red, los nodos juegan un papel muy importante ya

que van a garantizar que el paquete llegue sin errores a su destino por medio de un sistema de Transferencia Bajo Custodia, en el que cada nodo se encarga de verificar que el paquete llegue sano y salvo a su destino. Esto puede compararse análogamente a un juego de relevo en los que cada corredor es responsable de la entrega del bastón al siguiente corredor, evitando que este caiga al suelo.

¿Cómo es posible saber si un nodo es alcanzable o no? Pues es muy simple, para poder transmitir la información se necesita de una constante que sirva de referencia para determinar la distancia en la que se encuentra este nodo, garantizando que cada nodo pueda calcular si el nodo es o no alcanzable; en nuestro caso en particular la referencia sería el Sol. Como es imposible que un cuerpo celeste alcance la velocidad de la luz, el cálculo para determinar la posición sería en base a la velocidad de la luz y el intervalo de tiempo de cada nodo, ya que éste no debe pasar el límite de tiempo permitido y este límite a su vez consta de otro sublímite, de manera que siempre se garantiza la conectividad. Este cálculo podemos compararlo con un juego de fútbol americano, ya que cuando un jugador lanza la pelota a un compañero, este no lo manda a la posición actual del jugador, sino que lo hará a la posición donde espera que se encuentre en ese momento.

Entre los distintos nodos que componen la red interplanetaria están:

**Host:** Envían y reciben los paquetes, sin embargo, no los retransmiten. Esto quiere decir que actúan como fuente o destino de la red.

**Router:** Se encargan de recibir y reenviar el paquete a su destino. Este enrutamiento se puede dar entre regiones o dentro de una región particular.

**Gateway:** reenvían los paquetes entre dos o más regiones y es en este punto donde se realiza la traducción de los protocolos de las capas inferiores de cada región que abarquen como se muestra en la Figura 2.

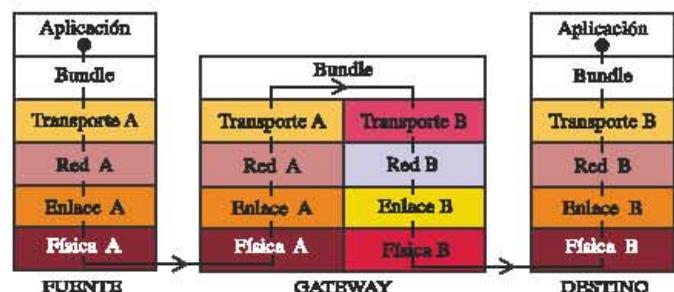


Figura 2. Traducción de Protocolos

**Región:** Como ya hemos mencionado en puntos anteriores, en la red interplanetaria se utiliza el concepto de región para referirse a aquellas zonas donde las características de red son las mismas. Estas características pueden ser: los protocolos de comunicación, sistemas de seguridad, mantenimiento de recursos, etc. Un ejemplo de una región puede ser la Tierra, Marte, la Estación Espacial Internacional, entre otros. Cada uno de estos nodos tendrá un nombre, el cual está compuesto por el nombre de la región el cual corresponde al enrutamiento entre regiones, y el nombre de la entidad que le corresponde al enrutamiento dentro de cada región, como se ilustra en la Figura 3.



Figura 3. Ejemplo de nombre de nodo

## 5. Seguridad IPN

Este es un punto crítico a tratar, ya que se debe garantizar tanto la protección de la infraestructura de la red como de los datos que están viajando a través de la red, por lo que se necesita un sistema que pueda permitir a los dispositivos intermedios (routers) verificar el estado del paquete durante su trayectoria a su destino, ya que los procesos de autenticación, encriptación, verificación de la integridad y la privacidad de los mensajes se realiza nodo a nodo. Para satisfacer estos requisitos se emplea la Tecnología de Correo Seguro cuyo funcionamiento se realizará de la siguiente manera: el mensaje que se está enviando será encriptado durante la trayectoria al siguiente nodo, el cual procederá primeramente a autenticar tanto al usuario que realiza la solicitud como los nodos por los que viaja el mensaje desde el origen hasta el destino, para posteriormente verificar la integridad y privacidad de los datos que se están transmitiendo y el tipo de servicio que el usuario desea aplicar al mensaje (Transferencia Bajo Custodia, Prioridad Normal). Este proceso se repite en cada nodo por el cual se enruta el mensaje hasta llegar a su destino. Al aplicar esta certificación nodo por nodo se garantiza que el receptor no tenga que utilizar ancho de banda adicional, ni retardos para hacer uso del mensaje recibido.

## 6. Avances

La primera prueba realizada por la NASA del protocolo DTN fue el 20 de noviembre del 2008, cuando un equipo de ingenieros del JPL, logró transmitir docenas de imágenes a través de una sonda espacial llamada Epoxi, localizada a más de 30 millones de kilómetros de la Tierra, hacia y desde la NASA.

El nodo más reciente construido en el espacio es la *Estación Espacial Internacional*, el cual está siendo utilizado actualmente como prototipo para realizar las pruebas necesarias para el funcionamiento de la IPN, ya que a pesar de estar a sólo 460 kilómetros de distancia de la Tierra, los tripulantes de la estación no

disponían de una conexión directa a la red, pero el 22 de enero del 2010, se pudo lograr el acceso directamente desde sus computadoras a la plataforma de Internet.

En cuanto al funcionamiento operativo de IPN con total funcionalidad y plena interconexión, las fechas varían y son todavía más lejanas: 2040 – 2100.

## 7. Comentarios Finales

Lo que se espera con el desarrollo de la red IPN es la interconexión de los dispositivos, a través del sistema solar, por medio de un sistema robusto, en el cual se disponga de un buen ancho de banda que permita establecer las conexiones fácilmente de manera segura y transparente para el usuario.

El desarrollo de este proyecto también trae consigo muchos beneficios, entre los que podemos mencionar el hecho de que se podrá mejorar de manera significativa la interacción del público con las misiones espaciales, ya que les permitirá participar virtualmente de las exploraciones que se realicen a nuevos mundos; también, la arquitectura DTN no sólo se aplica en el espacio, sino también en la Tierra, en aquellos ambientes extremos donde una conexión continua no es posible, como la búsqueda y monitorización de ganado y vida natural. Prueba de ello ha sido el exitoso proyecto Zebranet [7], el cual buscaba controlar los movimientos de las cebras en su ámbito natural.

La autora de este artículo se encuentra actualmente desarrollando una tesis basada en la Internet Interplanetaria.

## Agradecimiento

Agradezco al gran científico Vinton Cerf por tomar unos minutos de su valioso tiempo para enviarme información necesaria para el desarrollo este tema.

## Referencias

- [1] V. Cerf et al., "Interplanetary Internet (IPN): architectural definition", Internet draft, draft-irtf-ipnrg-arch-00.txt, May 2001.
- [2] Grupo de Interés Especial IPN: <http://www.ipnsig.org>
- [3] RFC4838: Memo de la Arquitectura de Red Tolerante a Fallos: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc4838.html>
- [4] Grupo de Investigación DTN: <http://www.dtnrg.org>
- [5] RFC5050: Especificación del Protocolo DTN, Experimental: [www.ietf.org/rfc/rfc5050.txt](http://www.ietf.org/rfc/rfc5050.txt)
- [6] Especificación de Seguridad del Protocolo DTN: <http://tools.ietf.org/html/draft-irtf-dtnrg-bundle-security-16>
- [7] Proyecto Zebranet: <http://www.princeton.edu/~mrm/zebranet.html>