

Nuevo modelo de decisión para gestión de tráfico en redes

New decision model for network traffic management

Domingo A. Rios¹, David L. La Red Martinez¹

¹ Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

domingualbertorios@gmail.com , lrmdavid@exa.unne.edu.ar

RESUMEN. Los nuevos servicios y tecnologías surgidos durante los últimos años en Internet plantean serios problemas para los mecanismos de control de congestión y gestión del ancho de banda y otros recursos de la red desarrollados hasta la fecha.

Es posible desarrollar nuevos modelos de decisión y operadores de agregación para la gestión de tráfico en redes para escenarios dinámicos (cargas de tráfico variables) contemplando cambios en la topología (agregado y caída de nodos y enlaces) para el siguiente escenario:

** Que los paquetes de datos sean despachados considerando como estado de cada ruta el promedio de los estados de sus nodos.

El presente trabajo detalla la forma en que se puede utilizar un nuevo modelo para la toma de decisiones, considerando el entorno de tráfico de paquetes o constitución de circuitos virtuales, aplicando un método de agregación y así generar la secuencia de asignación de las rutas a los paquetes o circuitos virtuales que las solicitan.

En base a los cálculos obtenidos se observa que la mejor ruta disponible para el escenario de datagramas resultó ser la que poseía el mayor resultado promedio entre los estados de los nodos, estado de los enlaces y saltos intervinientes de cada ruta posible para el despacho de paquetes.

ABSTRACT. The new services and technologies that have emerged in recent years on the Internet pose serious problems for the congestion control mechanisms and management of the bandwidth and other network resources developed to date.

It is possible to develop new decision models and aggregation operators for network traffic management for dynamic scenarios (variable traffic loads) contemplating changes in the topology (aggregate and drop of nodes and links) for the following scenario:

** That the data packets be dispatched considering the state of each route as the average of the states of their nodes.

The present work details the way in which a new model can be used for decision making, considering the environment of packet traffic or constitution of virtual circuits, applying an aggregation method and thus generating the sequence of allocation of routes to packages or virtual circuits that request them.

Based on the calculations obtained, it is observed that the best route available for the datagram scenario turned out to be the one with the highest average result between the states of the nodes, state of the links and intervening jumps of each possible route for the dispatch of packages.

PALABRAS CLAVE: Comunicaciones de datos, Transmisión de paquetes de datos, Modelos de decisión, Operadores de agregación.

KEYWORDS: Data communications, Transmission of data packages, Decision models, Aggregation operators.

1. Introducción

Actualmente, existe un convencimiento generalizado acerca de la necesidad de modelos y herramientas con mayor base teórica y experimental que las disponibles para el estudio de la dinámica del tráfico en Internet (Aiken et al., 2002; Floyd & Kohler, 2002).

Teniendo en cuenta las necesidades y los avances producidos en una sociedad sumamente compleja, resulta de gran importancia destacar tanto la transmisión de información, como la necesidad de que ésta llegue a destino en el momento preciso mediante el uso de las redes. De hecho, todas las sociedades, por definición, han sido y serán “sociedades de la comunicación”. La capa de red, dentro de una arquitectura de red de datos, es la que se encarga de llevar los paquetes de datos desde el origen (estación transmisora) hasta el destino (estación receptora). La proliferación de las redes informáticas, en las cuales existe mucho tráfico de paquetes de datos, hace necesario disponer de modelos de decisión que permitan a los paquetes ser ruteados de acuerdo a su prioridad y a los criterios de optimización adoptados, para ser enviados por la mejor ruta disponible para llegar a destino. Para tomar decisiones son necesarios diferentes niveles de acuerdo entre los nodos involucrados en las distintas rutas posibles, considerando, por ejemplo, el estado actual del nodo, esto incluye el porcentaje utilizado de CPU, porcentaje de memoria usada, número de paquetes encolados, un indicador de saturación de los tramos de los enlaces, etc.

El presente artículo fue realizado en base a un estudio de La Red Martínez (2017) donde se desarrollan operadores de agregación para la asignación de recursos en sistemas distribuidos. Y en él se comienza indicando la descripción del problema existente en el control de congestión de tráfico y demás recursos en la red. Para el estudio de los escenarios de datagramas y circuitos virtuales se tendrá en cuenta, como estado de cada ruta, un promedio de los estados de sus nodos, enlaces y saltos para indicar la mejor ruta posible al despachar los paquetes y conformar un circuito virtual. Luego se describirá la metodología y procedimientos, para ello se construirá la estructura de datos correspondiente al escenario, la descripción del operador de agregación: donde se mencionará y describirá cada una de las etapas de cálculo, se describirá las consideraciones acerca de las operaciones de agregación. Y luego se realizará un ejemplo para finalizar con la discusión de resultados y comentarios.

2. Descripción del problema

Los nuevos servicios y tecnologías surgidos durante los últimos años en Internet plantean serios problemas para los mecanismos de control de congestión y gestión del ancho de banda y otros recursos de la red desarrollados hasta la fecha (Floyd, 2000). Es más, el escaso conocimiento que se tiene sobre la dinámica del tráfico de Internet, así como la falta de enfoques de análisis y técnicas de ingeniería del tráfico en redes IP, suponen una importante limitación para la estabilidad y seguridad global de la red, el despliegue de nuevos servicios y el uso eficiente de nuevas tecnologías de comunicaciones.

3. Metodología y procedimientos

3.1. Estructuras de datos:

El sistema de matrices de datos que se utilizará contemplará las siguientes premisas y estructuras de datos. Se trata de asignar posibles rutas a paquetes de datos, debiendo decidirse cual ruta va a ser la mejor, en base a un criterio establecido, del estado de los nodos, enlaces y cantidad de saltos. Esto sería aplicable para esquemas de datagramas y para circuitos virtuales al momento de constituir el circuito virtual.

Se tendrá en cuenta

Conjunto de nodos $1, \dots, n$.

Nodos que alojan paquetes: $1, \dots, n$. El conjunto de nodos se representa de la siguiente manera:

$\text{nodos} = \{n_1, \dots, n_n\}$

Paquetes alojados en cada uno de los n nodos: $1, \dots, p$. El conjunto de paquetes se representa de la



siguiente manera:

paquetes = $\{p_{i,j,k,l}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (n° de nodo origen), $j = 1, \dots, p$ (n° de nodo destino), ($i \neq j$), $k = 1, \dots, q$ (n° de sesión) y $l = 1, \dots, r$ (n° orden de paquetes en la sesión) lo que se puede expresar mediante la tabla 1.

Nodos	Paquetes			
1	$p_{1,2,1,1}$	$p_{1,2,1,2}$	....	$p_{1,2,q,r}$
....
h	$p_{h,r,1,1}$	$p_{h,r,1,2}$	....	$p_{h,s,q,r}$
....
n	$p_{n,p,1,1}$	$p_{n,p,1,2}$	....	$p_{n,p,q,r}$

Tabla 1. Paquetes en cada nodo. Fuente: Elaboración propia.

Conjuntos de paquetes de una sesión: $1, \dots, g$. El conjunto de paquetes está integrado por paquetes de una misma sesión y se representa de la siguiente manera:

conjuntos = $\{p_{i,j,k,l}\}$ con i indicando el nodo origen, j nodo destino, k indicando el número de sesión y l el orden de asignación en la sesión.

Tamaño de cada uno de los g conjuntos de paquetes. El número de paquetes en cada conjunto indica la cardinalidad del conjunto y se representa de la siguiente manera:

card = $\{\text{card}(g_i)\}$ con $i = 1, \dots, g$ indicando el conjunto.

Prioridad grupal de cada uno de los g conjuntos de paquetes. Estas prioridades se pueden fijar según distintos criterios; en esta propuesta se considerará que es función de la cardinalidad de cada conjunto y se representa de la siguiente manera:

Prg = $\{\text{prg}_i = \text{card}(g_i)\}$ con $i = 1, \dots, g$ indicando el grupo (conjunto de paquetes de una misma sesión)

Conjunto de rutas $1, \dots, r$, constituidas por un subconjunto de nodo origen, nodo destino y número de ruta, con nodo origen distinto al nodo destino (Tabla 2).

Nodos	Rutas			
1,2	$r_{1,2,1}$	$r_{1,2,2}$	....	$r_{1,2,n}$
....
i,p	$r_{i,p,1}$	$r_{i,p,2}$	....	$r_{i,p,n}$
....
r,s	$r_{r,s,1}$	$r_{r,s,2}$	....	$r_{r,s,n}$

Tabla 2. Rutas posibles disponibles. Fuente: Elaboración propia.

Conjunto de enlaces (tramos) establecidos para cada ruta disponible: $1, \dots, e$. (Tabla 3)

Rutas	Enlaces			
$r_{1,2,1}$	e_1	e_2	....	e_n
....
$r_{o,p,q}$	e_1	e_2	....	e_n
....
$r_{i,j,k}$	e_1	e_2	....	e_n

Tabla 3. Paquetes en cada nodo. Fuente: Elaboración propia.

Estado posible de cada uno de los n nodos:

- Número de paquetes encolados en el nodo.
- Prioridades de los paquetes.
- Uso de CPU.
- Uso de memoria.
- Uso de memoria virtual.
- Tamaño de paquetes (número t de paquetes).
- Predisposición y decisión (prioridad global) para otorgar el acceso a cada una de las r rutas.
- Carga actual del nodo, que se podrá calcular como el promedio de los porcentajes de uso de CPU y memoria (estos indicadores de carga podrán variar según los casos, pudiendo agregarse otros o cambiarse algunos de los puestos como ejemplo); también habrán de definirse las categorías de carga actual, por ejemplo, Alta, Media y Baja, señalándose los rangos de valores para cada categoría.

Estado posible de los e enlaces:

Para el cálculo de los estados de los enlaces se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- factor de velocidad de transmisión (% de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad).
- Factor de confiabilidad (% de paquetes transmitidos sin error).
- Factor de disponibilidad (% de capacidad disponible en el canal).

Estado posible de las r rutas:

- Se calculará con los operadores de agregación en base al estado de los nodos destinos, enlaces y saltos constituidos.

3.2. Descripción Del Operador De Agregación:

El operador propuesto consta de las siguientes etapas:

- 1) Cálculo de la carga computacional actual de los nodos destinos, estado de los enlaces y saltos de las posibles rutas a ser asignadas.
- 2) Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas.
- 3) Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes teniendo en cuenta el estado del nodo destino, enlaces y nodos intermedios entre enlaces si hubiera (se las calcula para cada paquete).
- 4) Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes para acceder a las rutas disponibles (se las calcula en el administrador centralizado de tráfico de paquetes entre nodos), determinación del orden en que

se asignarán las rutas y a qué paquete será asignada cada posible ruta.

A continuación, se describirá cada una de las etapas mencionadas.

Cálculo de la carga computacional actual de los nodos

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo destino se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta los criterios serán el % de uso de la CPU, el % de uso de la memoria y el % promedio de paquetes en el nodo destino como se verá en el ejemplo.

La carga computacional de cada nodo se calculará de la siguiente manera:

Establecimiento del n° de criterios para determinar la carga de los nodos destinos e intermedios si los hubiere:

$$\text{card}(\{\text{criterios}\}) = c$$

Establecimiento de los criterios que se aplicarán (podrán diferir de un nodo a otro):

criterios = $\{c_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (n° de nodos en la ruta establecida) y $j = 1, \dots, c$ (n° máximo de criterios para cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 4.

Nodos	Criterios			
1	c_{11}	c_{12}	....	c_{1c}
....
l	c_{l1}	c_{l2}	....	c_{lc}
....
n	c_{n1}	c_{n2}	....	c_{nc}

Tabla 4. Criterios para medir la carga computacional en cada nodo destino e intermedio. Fuente: Elaboración propia.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar el mismo conjunto de criterios.

Cálculo de la carga computacional de cada nodo:

$$\text{cargai} = (\text{valor}(c_{i1}) + \dots + \text{valor}(c_{ic})) / c \text{ con } i = 1, \dots, n$$

Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas

Para establecer las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta las categorías serán: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%), como se verá en el ejemplo.

Establecimiento del n° de categorías para determinar la carga de los nodos:

$$\text{card}(\{\text{categorías}\}) = a$$

Establecimiento de las categorías que se aplicarán (podrán diferir de un nodo a otro):

categorías = $\{cat_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, n$ (n° de nodos en la ruta establecida) y $j = 1, \dots, a$ (n° máximo de categorías para cada nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 5.

Nodos	Categorías			
1	cat_{11}	cat_{12}	....	cat_{1a}
....
l	cat_{l1}	cat_{l2}	....	cat_{la}
....
n	cat_{n1}	cat_{n2}	....	cat_{na}

Tabla 5. Categorías para medir la carga computacional en cada nodo. Fuente: Elaboración propia.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se pueden adoptar distintos criterios; en esta propuesta los criterios serán: N° de paquetes en el nodo destino (e intermedio si hubiera), % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual y % de prioridad promedio de los paquetes en el nodo destino (e intermedio si hubiera), como se verá en el ejemplo.

Establecimiento del n° de criterios para determinar la prioridad o preferencia que se otorgará en cada nodo según su carga a cada pedido de una ruta establecida.

$$\text{card}(\{\text{critpref}\}) = e$$

Establecimiento de los criterios que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

criterios para preferencias = $\{cp_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías de carga computacional) y $j = 1, \dots, e$ (n° máximo de criterios), lo que se puede expresar mediante la tabla 6.

Categorías	Criterios			
1	cp_{11}	cp_{12}	....	cp_{1e}
....
l	cp_{l1}	cp_{l2}	....	cp_{le}
....
a	cp_{a1}	cp_{a2}	....	cp_{ae}

Tabla 6. Criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada posible ruta establecida según la carga del nodo destino, enlaces y saltos. Fuente: Elaboración propia.

Eventualmente todos los nodos podrían utilizar distintos conjuntos de criterios aplicables a las distintas categorías de carga computacional; en esta propuesta y como se verá en el ejemplo, se utilizan los mismos criterios para todos los nodos.

Una vez determinadas las categorías para indicar la carga de los nodos y los criterios que se aplicarán para evaluar la prioridad a otorgar rutas establecidas de cada paquete, se podrán establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga.

Establecimiento de los vectores de pesos que se aplicarán (iguales para todos los nodos):

pesos = $\{w_{ij}\}$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías de carga computacional) y $j = 1, \dots, e$ (n° máximo de criterios), lo que se puede expresar mediante la tabla 7.

Categorías	Pesos			
1	w_{11}	w_{12}	....	w_{1e}
....
l	w_{l1}	w_{l2}	....	w_{le}
....
a	w_{a1}	w_{a2}	....	w_{ae}

Tabla 7. Pesos asignados a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de cada paquete según la carga del nodo destino e intermedio si hubiere. Fuente: Elaboración propia.

La asignación de pesos a los distintos criterios será función de estudios estadísticos previamente realizados acerca de las posibles rutas establecidas; habrá entonces una función de asignación de pesos a los criterios para

constituir los vectores de pesos de cada categoría de carga:

$w_{ij} = \text{norm}(\text{función}(cp_{ij}))$ con $i = 1, \dots, a$ (n° de categorías) y $j = 1, \dots, e$ (n° de criterios); norm indica que los valores deben estar normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos de un vector de pesos debe dar 1:

$$\sum \{w_{ij}\} = 1 \text{ con } j = 1, \dots, e \text{ para cada } i \text{ constante.}$$

Esto significa que la sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios será 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1.

Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes teniendo en cuenta el estado del nodo destino, intermedio si hubiere, de los enlaces y número de saltos (se las calcula para cada paquete y podría llamarlas prioridades nodales, de enlaces y saltos).

Estas prioridades son calculadas en cada nodo para cada posible ruta establecida; el cálculo considera el vector de pesos correspondiente según la carga actual del nodo destino, los enlaces, número de saltos y el vector de los valores otorgados por el nodo según los criterios de evaluación de la asignación de rutas. El rango de valores es entre 0 y 1, donde un valor cercano a 0 significa que el criterio relacionado aportará poco al cálculo de la prioridad de la asignación de ruta en tanto que un valor cercano a 1 significa lo contrario. Esto permite que un nodo y si existiera un nodo intermedio, enlaces y número de saltos ante una asignación de ruta a un paquete, podrá influir en la misma según sus estados y el impacto o carga adicional que significaría asignar la posible ruta solicitada al paquete solicitante.

Los vectores de valoraciones que se aplicarán para cada asignación de una posible ruta a un paquete, según los criterios establecidos para la determinación de la prioridad que en cada caso y momento fijará el nodo destino, nodos intermedios, enlaces y número de saltos en el cual se produce la asignación, son los siguientes:

valoraciones $(r_{i,j,k} p_{q,r,s,t}) = \{cp_m\}$ con $i = 1, \dots, n$ (nodo actual en el que se encuentra el paquete), $j = 1, \dots, r$ (nodo destino), $k = 1, \dots, s$ (n° de ruta posible), $l = 1, \dots, p$ (nodo origen), $o = 1, \dots, q$ (nodo destino), $r = q$, $x = 1, \dots, s$ (n° de sesión), $y = 1, \dots, t$ (n° de orden), $z = 1, \dots, e$ (criterios de valoración de la prioridad de la asignación de ruta), los que se pueden expresar mediante la tabla 8.

Rutas – Paquetes	Criterios				
$r_{1,2,1} p_{1,2,1,1}$	cp_1	....	cp_m	....	cp_e
....
$r_{c,d,f} p_{g,h,i,j}$	cp_1	....	cp_m	....	cp_e
....
$r_{n,r,k} p_{p,q,s,t}$	cp_1	....	cp_m	....	cp_e

Tabla 8. Valoraciones asignadas a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a la asignación de ruta de cada paquete según la carga del nodo destino, nodos intermedios si hubiere, enlaces y cantidad de saltos. Fuente: Elaboración propia.

Resumiendo, la prioridad nodal de enlaces y saltos (por ser calculada en el nodo en el que se produce la asignación de ruta) de un paquete para acceder a una ruta establecida se calcula mediante el producto escalar de los vectores mencionados anteriormente:

prioridad nodal, enlaces y saltos $(r_{n,r,k} p_{p,q,s,t}) = \sum w_{om} * cp_m$ con o indicando el vector de pesos según la carga del nodo destino, nodos intermedios, enlaces y cantidad de saltos manteniendo los demás subíndices los significados explicados anteriormente.

Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes para acceder a las rutas disponibles (se las calcula en el administrador centralizado de rutas) y determinación del orden en que se asignarán las rutas y a qué paquete será asignado cada ruta.

En esta etapa se consideran las prioridades nodales, de estado de los enlaces y saltos calculadas en la etapa anterior para cada requerimiento de acceso a las rutas disponibles por parte de los paquetes. A partir de estas prioridades nodales, de enlaces y saltos se deben calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, las posibles rutas establecidas serán otorgadas y a qué paquetes se hará dicho otorgamiento. Los requerimientos que no puedan ser atendidos por resultar con bajas prioridades, serán nuevamente considerados en la siguiente iteración del método.

Para el cálculo de las prioridades finales se utiliza la tabla 9, en la cual se colocan las prioridades o preferencias nodales, de enlaces y saltos calculadas en la etapa anterior; en esta tabla cada fila contiene la información de las prioridades nodales de los distintos paquetes para acceder a una determinada ruta.

Rutas	Prioridades Nodales, de Enlaces y Saltos de los Paquetes				
$r_{1,2,1}$	p_{11}	....	p_{kl}	....	p_{np}
....
$r_{i,j,1}$	p_{11}	....	p_{kl}	....	p_{np}
....
$r_{n,r,m}$	p_{11}	....	p_{kl}	....	p_{np}

Tabla 9. Prioridades nodales, de enlaces y saltos de los paquetes para acceder a cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a las rutas.

pesos finales = $\{wf_{kl}\}$ con $k = 1, \dots, n$ (n° de nodos) y $l = 1, \dots, p$ (n° máximo de paquetes por nodo), lo que se puede expresar mediante la tabla 10, donde np es el número de paquetes en el sistema y prg_i es la prioridad del grupo de paquetes al que pertenece el paquete (explicada en la Sección anterior).

Paquetes	Pesos Finales	
	Si integra un grupo de paquetes	Si es independiente
$p_{1,2,1,1}$	$wf_{11}=(prg_i)/np$	$wf_{11}=1/np$
....
$p_{g,h,i,j}$	$wf_{ki}=(prg_i)/np$	$wf_{ki}=1/np$
....
$p_{p,q,s,t}$	$wf_{np}=(prg_i)/np$	$wf_{np}=1/np$

Tabla 10. Pesos asignados a los paquetes para calcular la prioridad o preferencia final de acceso a las rutas. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es normalizar los pesos recientemente obtenidos dividiendo cada uno por la sumatoria de todos ellos, lo cual se indica en la tabla 11.

Paquetes	Pesos Finales Normalizados
$p_{1,2,1,1}$	$nwf_{11} = wf_{11} / \sum wf_{kl}$
....
$p_{g,h,l,j}$	$nwf_{kl} = wf_{kl} / \sum wf_{kl}$
....
$p_{p,q,s,t}$	$nwf_{np} = wf_{np} / \sum wf_{kl}$

Tabla 11. Pesos finales normalizados asignados a los paquetes para calcular la prioridad o preferencia final de acceso a las rutas.
Fuente: Elaboración propia.

Es así como se obtiene un vector de pesos normalizados (en el intervalo de 0 a 1 inclusive) y con la restricción de que la sumatoria de los elementos del vector debe dar 1:

$$\sum \{nwf_{kl}\} = 1 \text{ con } k = 1, \dots, n \text{ (n}^\circ \text{ de nodos) y } l = 1, \dots, p \text{ (n}^\circ \text{ máximo de paquetes por nodo).}$$

Las prioridades nodales, de enlaces y saltos indicadas en la tabla 9 tomadas fila por fila, es decir, respecto de cada ruta, se multiplicarán escalarmente por el vector de pesos finales normalizados indicado en la tabla 11 para obtener las prioridades globales finales de acceso de cada paquete a cada ruta y de allí, el orden o prioridad con que se asignarán las rutas y a qué paquete se asignará cada una de ellas; esto se indica a continuación.

prioridad final global ($r_{i,j,k} p_{q,r,s,t}$) = $nwf_{kl} * p_{q,r,s,t}$ con $r_{i,j,k}$, K indicando la ruta hacia el nodo destino j, pq,r,s,t el paquete y el producto la prioridad final global de dicho paquete para acceder a la mencionada ruta. El mayor de estos productos hechos para los distintos paquetes en relación a la misma ruta solicitada indicará cuál de los paquetes tendrá acceso a la ruta.

La sumatoria de todos estos productos en relación a la misma ruta, indicará la prioridad que tendrá dicha ruta para ser asignada en relación a las demás rutas que también tendrán que ser evaluadas. Esto constituye lo que se denominará Función de Asignación para Rutas Disponibles (FARD):

$$FARD(r_{ij}) = \sum nwf_{kl} * p_{q,r,s,t} = \text{prioridad de asignación de la ruta } r_{i,j,k}$$

Calculando la FARD para todas las rutas se obtendrá un vector y ordenando sus elementos de mayor a menor se obtendrán el orden prioritario de asignación de las posibles rutas. Además, como ya se ha indicado, el mayor de los productos $nwf_{kl} * p_{q,r,s,t}$ respecto de cada posible ruta indicará el paquete al cual será asignada la posible ruta. Esto se indica en la tabla 12.

Orden de asignación de las rutas	Paquete al que se asignará la ruta
1°: $r_{i,j,k}$ del Máximo(FARD($r_{i,j,k}$))	$p_{q,r,s,t}$ del Máximo($nwf_{kl} * p_{q,r,s,t}$) para el r_{ij} seleccionado
2°: $r_{i,j,k}$ del Máximo(FARD($r_{i,j,k}$)) para los $r_{i,j,k}$ no asignados	p_{kl} del Máximo ($nwf_{kl} * p_{q,r,s,t}$) para el $r_{i,j,k}$ r_{ij} seleccionado
....
último: $r_{i,j,k}$ no asignado	$p_{q,r,s,t}$ del Máximo ($nwf_{kl} * p_{q,r,s,t}$) para el $r_{i,j,k}$ seleccionado

Tabla 12. Orden o prioridad final de asignación de las rutas y paquetes al cual se asigna cada ruta. Fuente: Elaboración propia.



3.3. Consideraciones acerca de las operaciones de agregación

Las características de las operaciones de agregación descritas permiten considerar que el método propuesto pertenece a la familia de operadores de agregación Neat-OWA, operadores que se caracterizan por lo siguiente:

La definición de los operadores OWA indica que

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot b_j$$

, donde b_j es el j -ésimo valor mayor de las a_n , con la restricción para los pesos de satisfacer (1)

$$w_i \in [0,1]$$

y (2)

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Para la familia de operadores Neat OWA los pesos serán calculados en función de los elementos que se agregan, o más exactamente de los valores a agregar ordenados, los b_j , manteniéndose las condiciones (1) y (2). En este caso los pesos son:

$$w_i = f_i(b_1, \dots, b_n)$$

, definiéndose el operador

$$F(a_1, \dots, a_n) = \sum_i f_i(b_1, \dots, b_n) \cdot b_i$$

Para esta familia, donde los pesos dependen de la agregación, no se exige la satisfacción de todas las propiedades de los operadores OWA.

Además, para poder afirmar que un operador de agregación es neat, es necesario que el valor final de agregación sea independiente del orden de los valores. Sea $A=(a_1, \dots, a_n)$ las estradas a agregar, sea $B=(b_1, \dots, b_n)$ las entradas ordenadas y $C=(c_1, \dots, c_n)=\text{Perm}(a_1, \dots, a_n)$ una permutación de las entradas. Formalmente se define un operador OWA como neat si

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot b_i$$

Produce el mismo resultado para cualquier asignación $C = B$.

Una de las características a señalar de los operadores Neat OWA es que los valores a agregar no necesitan ser ordenados para su proceso. Esto implica que la formulación de un operador neat puede ser definida usando directamente los argumentos en lugar de los elementos ordenados.

En el operador de agregación propuesto los pesos se calculan en función de valores del contexto del cual surgen los valores a agregar.

4. Ejemplo y discusión de resultados

En esta sección se explicará detalladamente un ejemplo de aplicación del operador de agregación propuesto en un esquema de datagramas y seguidamente en uno de circuitos virtuales (Figura 1).

$r_{i,j,k} = \{\{e_1\}, \{e_2\}, \dots, \{e_m\}\}$, siendo r =ruta, i =nodo origen, j =nodo destino, con $i \neq j$, k =número de ruta posible, $e = 1, \dots, m$ (enlaces entre nodos de la posible ruta disponible).

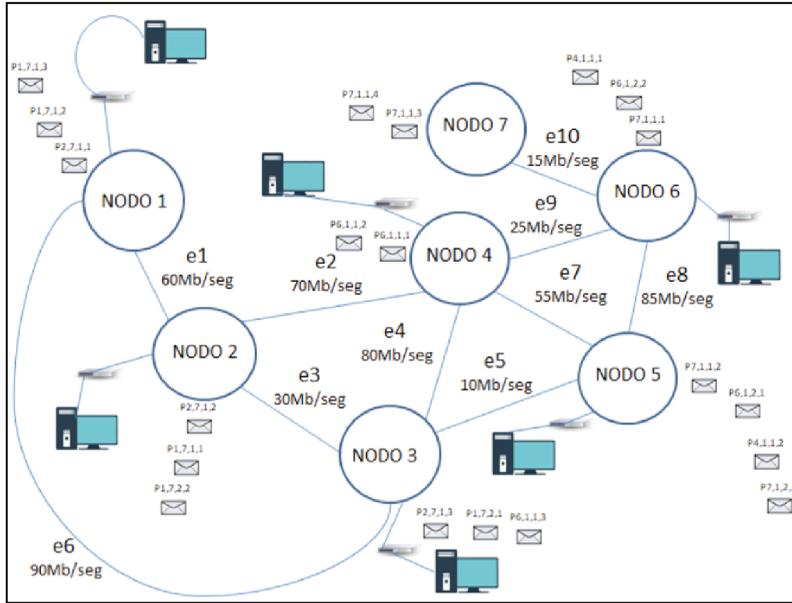


Figura 1. Esquema de datagramas. Fuente: Elaboración propia.

El administrador centralizado es el encargado de gestionar todo, tiene una visión global (información de la cual surgen los cálculos) y por ende de todos los cambios que ocurren en el escenario.

El sistema de rutas posibles tiene siete nodos:
 nodos = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}

Se considerará que los paquetes serán despachados desde el origen hacia el destino pudiendo distribuirse los mismos por los distintos nodos en base a los cambios previstos en cada nodo para el despacho de los mismos hacia el destino fijado previamente.

Los paquetes que se encuentran en los nodos son los siguientes: tres paquetes en el nodo 1, tres paquetes en el nodo 2, tres paquetes en el nodo 3, dos paquetes en el nodo 4, cuatro paquetes en el nodo 5, tres paquetes en el nodo 6 y dos paquetes en el nodo 7.

paquetes = $\{p_{i,j,k,l}\}$ con i indicando el nodo inicio, j indicando el nodo destino, k indicando el número de sesión y l el número de orden de secuencia de envío lo que se puede expresar mediante la tabla 13.

Nodos	Paquetes			
1	$p_{2,7,1,1}$	$p_{1,7,1,2}$	$p_{1,7,1,3}$	
2	$p_{2,7,1,2}$	$p_{1,7,1,1}$	$p_{1,7,2,2}$	
3	$p_{2,7,1,3}$	$p_{1,7,2,1}$	$p_{6,1,1,3}$	
4	$p_{6,1,1,1}$	$p_{6,1,1,2}$		
5	$p_{7,1,1,2}$	$p_{6,1,2,1}$	$p_{4,1,1,2}$	$p_{7,1,2,1}$
6	$p_{7,1,1,1}$	$p_{6,1,2,2}$	$p_{4,1,1,1}$	
7	$p_{7,1,1,3}$	$p_{7,1,1,4}$		

Tabla 13. Paquetes en cada nodo. Fuente: Elaboración propia.

Los paquetes pueden ser independientes (un solo paquete) o constituir conjuntos de paquetes (varios paquetes de una misma sesión); en este ejemplo se considerarán cinco conjuntos de paquetes y seis paquetes independientes de diferentes sesiones, lo que se puede expresar mediante las tablas 14 y 15.

Conjuntos de paquetes y paquetes independientes	Paquetes				Prioridad
1	p _{1,7,1,1}	p _{1,7,1,2}	p _{1,7,1,3}		0,8
2	p _{1,7,2,1}	p _{1,7,2,2}			0,6
3	p _{6,1,1,1}	p _{6,1,1,2}	p _{6,1,1,3}		0,8
4	p _{2,7,1,1}	p _{2,7,1,2}	p _{2,7,1,3}		0,8
5	p _{7,1,1,1}	p _{7,1,1,2}	p _{7,1,1,3}	p _{7,1,1,4}	1,0
6	p _{7,1,2,1}				0,4
7	p _{4,1,1,1}	p _{4,1,1,2}			0,6
8	p _{6,1,2,1}	p _{6,1,2,2}			0,6

Tabla 14. Conjunto de paquetes y paquetes independientes. Fuente: Elaboración propia.

El n° de paquetes en cada conjunto indica la cardinalidad del conjunto de paquetes y se representa de la siguiente manera:

$$\text{card} = \{\text{card}(g_i)\} = \{3, 2, 3, 3, 4, 1, 2, 2\} \text{ con } i \text{ indicando el conjunto.}$$

La prioridad de los conjuntos de paquetes se considerará que es la cardinalidad de cada grupo y se representa de la siguiente manera:

$$\text{prg} = \{\text{prg}_i = \text{card}(g_i)\} = \{3, 2, 3, 3, 4, 1, 2, 2\} \text{ con } i \text{ indicando el conjunto.}$$

Las rutas posibles en este ejemplo se considerarán entre los nodos origen y destino previamente definidos y son las siguientes: tres rutas desde el nodo 1 al nodo 2, dos rutas desde el nodo 1 al nodo 3, tres rutas desde el nodo 1 al nodo 4, tres rutas desde el nodo 1 al nodo 5, tres rutas desde el nodo 1 al nodo 6, tres rutas desde el nodo 1 al nodo 7, dos rutas desde el nodo 2 al nodo 1, tres rutas desde el nodo 2 al nodo 3, dos rutas desde el nodo 2 al nodo 4, tres rutas desde el nodo 3 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 3 al nodo 2, dos rutas desde el nodo 3 al nodo 4, tres rutas desde el nodo 2 al nodo 5, dos rutas desde el nodo 2 al nodo 6, dos rutas desde el nodo 2 al nodo 7, tres rutas desde el nodo 3 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 3 al nodo 2, dos rutas desde el nodo 3 al nodo 4, tres rutas desde el nodo 3 al nodo 5, dos rutas desde el nodo 3 al nodo 6, tres rutas desde el nodo 3 al nodo 7, tres rutas desde el nodo 4 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 4 al nodo 2 y dos rutas desde el nodo 4 al nodo 3, tres rutas desde el nodo 4 al nodo 5, dos rutas desde el nodo 4 al nodo 6, tres rutas desde el nodo 4 al nodo 7, tres rutas desde el nodo 5 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 5 al nodo 2, dos rutas desde el nodo 5 al nodo 3, tres rutas desde el nodo 5 al nodo 4, dos rutas desde el nodo 5 al nodo 6, dos rutas desde el nodo 5 al nodo 7, tres rutas desde el nodo 6 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 6 al nodo 2, dos rutas desde el nodo 6 al nodo 3, dos rutas desde el nodo 6 al nodo 4, tres rutas desde el nodo 6 al nodo 5, una ruta desde el nodo 6 al nodo 7, tres rutas desde el nodo 7 al nodo 1, dos rutas desde el nodo 7 al nodo 2, tres rutas desde el nodo 7 al nodo 3, dos rutas desde el nodo 7 al nodo 4, dos rutas desde el nodo 7 al nodo 5, una ruta desde el nodo 7 al nodo 6.

Rutas = $\{r_{i,j,k}\}$ con i indicando el nodo origen, j indicando nodo destino y k número de rutas posibles, lo que se puede expresar mediante la tabla 15.

Nodos		Rutas		
1 a 2	r _{1,2,1}	r _{1,2,2}	r _{1,2,3}	
1 a 3	r _{1,3,1}	r _{1,3,2}		
1 a 4	r _{1,4,1}	r _{1,4,2}	r _{1,4,3}	
1 a 5	r _{1,5,1}	r _{1,5,2}	r _{1,5,3}	
1 a 6	r _{1,6,1}	r _{1,6,2}	r _{1,6,3}	
1 a 7	r _{1,7,1}	r _{1,7,2}	r _{1,7,3}	
2 a 1	r _{2,1,1}	r _{2,1,2}		
2 a 3	r _{2,3,1}	r _{2,3,2}	r _{2,3,3}	
2 a 4	r _{2,4,1}	r _{2,4,2}		
2 a 5	r _{2,5,1}	r _{2,5,2}	r _{2,5,3}	
2 a 6	r _{2,6,1}	r _{2,6,2}		
2 a 7	r _{2,7,1}	r _{2,7,2}		
3 a 1	r _{3,1,1}	r _{3,1,2}	r _{3,1,3}	
3 a 2	r _{3,2,1}	r _{3,2,2}		
3 a 4	r _{3,4,1}	r _{3,4,2}		
3 a 5	r _{3,5,1}	r _{3,5,2}	r _{3,5,3}	
3 a 6	r _{3,6,1}	r _{3,6,2}		
3 a 7	r _{3,7,1}	r _{3,7,2}	r _{3,7,3}	
4 a 1	r _{4,1,1}	r _{4,1,2}	r _{4,1,3}	
4 a 2	r _{4,2,1}	r _{4,2,2}		
4 a 3	r _{4,3,1}	r _{4,3,2}		

4 a 5	r _{4,5,1}	r _{4,5,2}	r _{4,5,3}	
4 a 6	r _{4,6,1}	r _{4,6,2}		
4 a 7	r _{4,7,1}	r _{4,7,2}	r _{4,7,3}	
5 a 1	r _{5,1,1}	r _{5,1,2}	r _{5,1,3}	
5 a 2	r _{5,2,1}	r _{5,2,2}		
5 a 3	r _{5,3,1}	r _{5,3,2}		
5 a 4	r _{5,4,1}	r _{5,4,2}	r _{5,4,3}	
5 a 6	r _{5,6,1}	r _{5,6,2}		
5 a 7	r _{5,7,1}	r _{5,7,2}		
6 a 1	r _{6,1,1}	r _{6,1,2}	r _{6,1,3}	
6 a 2	r _{6,2,1}	r _{6,2,2}		
6 a 3	r _{6,3,1}	r _{6,3,2}		
6 a 4	r _{6,4,1}	r _{6,4,2}		
6 a 5	r _{6,5,1}	r _{6,5,2}	r _{6,5,3}	
6 a 7	r _{6,7,1}			
7 a 1	r _{7,1,1}	r _{7,1,2}	r _{7,1,3}	
7 a 2	r _{7,2,1}	r _{7,2,2}		
7 a 3	r _{7,3,1}	r _{7,3,2}	r _{7,3,3}	
7 a 4	r _{7,4,1}	r _{7,4,2}		
7 a 5	r _{7,5,1}	r _{7,5,2}		
7 a 6	r _{7,6,1}			

Tabla 15. Rutas disponibles entre nodos. Fuente: Elaboración propia.

Los enlaces disponibles de las rutas posibles se muestran en la tabla 16.

Rutas	Enlaces				
r _{1,2,1}	e ₁				
r _{1,2,2}	e ₆	e ₃			
r _{1,2,3}	e ₆	e ₄	e ₂		
r _{1,3,1}	e ₆				
r _{1,3,2}	e ₁	e ₃			
r _{1,4,1}	e ₆	e ₄			
r _{1,4,2}	e ₁	e ₂			
r _{1,4,3}	e ₁	e ₃	e ₄		
r _{1,5,1}	e ₁	e ₂	e ₇		
r _{1,5,2}	e ₁	e ₃	e ₅		
r _{1,5,3}	e ₆	e ₃			
r _{1,6,1}	e ₁	e ₂	e ₉		
r _{1,6,2}	e ₁	e ₃	e ₂	e ₈	
r _{1,6,3}	e ₆	e ₄	e ₉		
r _{1,7,1}	e ₁	e ₂	e ₉	e ₁₀	
r _{1,7,2}	e ₁	e ₃	e ₅	e ₈	e ₁₀
r _{1,7,3}	e ₆	e ₄	e ₉	e ₁₀	
r _{2,1,1}	e ₁				
r _{2,1,2}	e ₃	e ₆			
r _{2,3,1}	e ₃				
r _{2,3,2}	e ₂	e ₄			
r _{2,3,3}	e ₁	e ₆			
r _{2,4,1}	e ₂				
r _{2,4,2}	e ₃	e ₄			
r _{2,5,1}	e ₇	e ₇			
r _{2,5,2}	e ₃	e ₅			
r _{2,5,3}	e ₁	e ₆	e ₅		
r _{2,6,1}	e ₂	e ₃			
r _{2,6,2}	e ₃	e ₅	e ₈		
r _{2,7,1}	e ₂	e ₉	e ₁₀		
r _{2,7,2}	e ₃	e ₅	e ₈	e ₁₀	
r _{3,1,1}	e ₆				
r _{3,1,2}	e ₃	e ₁			

r _{3,1,3}	e ₄	e ₂	e ₁		
r _{3,2,1}	e ₃				
r _{3,2,2}	e ₄	e ₇			
r _{3,4,1}	e ₄				
r _{3,4,2}	e ₅	e ₇			
r _{3,5,1}	e ₅				
r _{3,5,2}	e ₄	e ₇			
r _{3,5,3}	e ₄	e ₉	e ₈		
r _{3,6,1}	e ₄	e ₉			
r _{3,6,2}	e ₅	e ₅	e ₈		
r _{3,7,1}	e ₄	e ₉	e ₁₀		
r _{3,7,2}	e ₅	e ₈	e ₁₀		
r _{3,7,3}	e ₅	e ₇	e ₉	e ₁₀	
r _{4,1,1}	e ₂	e ₁			
r _{4,1,2}	e ₄	e ₃	e ₁		
r _{4,1,3}	e ₄	e ₆			
r _{4,2,1}	e ₂				
r _{4,2,2}	e ₄	e ₃			
r _{4,3,1}	e ₄				
r _{4,3,2}	e ₇	e ₅			
r _{4,5,1}	e ₇				
r _{4,5,2}	e ₉	e ₈			
r _{4,5,3}	e ₄	e ₅			
r _{4,6,1}	e ₉				
r _{4,6,2}	e ₇	e ₈			
r _{4,7,1}	e ₉	e ₁₀			
r _{4,7,2}	e ₇	e ₈	e ₁₀		
r _{4,7,3}	e ₄	e ₅	e ₈	e ₁₀	
r _{5,1,1}	e ₅	e ₃	e ₁		
r _{5,1,2}	e ₇	e ₂	e ₁		
r _{5,1,3}	e ₅	e ₆			
r _{5,2,1}	e ₇	e ₂			
r _{5,2,2}	e ₅	e ₂			
r _{5,3,1}	e ₁₀				

r _{5,3,2}	e ₇	e ₄			
r _{5,4,1}	e ₇				
r _{5,4,2}	e ₅	e ₄			
r _{5,4,3}	e ₈	e ₉			
r _{5,6,1}	e ₈				
r _{5,6,2}	e ₇	e ₉			
r _{5,7,1}	e ₈	e ₁₀			
r _{5,7,2}	e ₇	e ₉	e ₁₀		
r _{6,1,1}	e ₈	e ₂	e ₃	e ₁	
r _{6,1,2}	e ₉	e ₅	e ₁		
r _{6,1,3}	e ₈	e ₅	e ₆		
r _{6,2,1}	e ₈	e ₃	e ₁		
r _{6,2,2}	e ₉	e ₂			
r _{6,3,1}	e ₈	e ₅			
r _{6,3,2}	e ₉	e ₄			
r _{6,4,1}	e ₉				
r _{6,4,2}	e ₈	e ₇			
r _{6,5,1}	e ₈				
r _{6,5,2}	e ₉	e ₇			
r _{6,5,3}	e ₉	e ₄	e ₅		
r _{6,7,1}	e ₁₀				
r _{7,1,1}	e ₁₀	e ₈	e ₅	e ₃	e ₁
r _{7,1,2}	e ₁₀	e ₉	e ₂	e ₁	
r _{7,1,3}	e ₁₀	e ₉	e ₄	e ₆	
r _{7,2,1}	e ₁₀	e ₉	e ₂		
r _{7,2,2}	e ₁₀	e ₈	e ₅	e ₃	
r _{7,3,1}	e ₁₀	e ₈	e ₅		
r _{7,3,2}	e ₁₀	e ₉	e ₄		
r _{7,3,3}	e ₁₀	e ₈	e ₇	e ₄	
r _{7,4,1}	e ₁₀	e ₉			
r _{7,4,2}	e ₁₀	e ₈	e ₇		
r _{7,5,1}	e ₁₀	e ₈			
r _{7,5,2}	e ₁₀	e ₉	e ₇		
r _{7,6,1}	e ₁₀				

Tabla 16. Enlaces disponibles en rutas posibles. Fuente: Elaboración propia.

Las solicitudes de rutas posibles por parte de los paquetes se muestran en la tabla 17.

Rutas	Paquetes
f _{1,7,1}	P _{2,7,1,1} ; P _{2,7,1,2} ; P _{1,7,1,3}
f _{1,7,2}	P _{2,7,1,1} ; P _{2,7,1,2} ; P _{1,7,1,3}
f _{1,7,3}	P _{2,7,1,1} ; P _{2,7,1,2} ; P _{1,7,1,3}
f _{2,7,1}	P _{2,7,1,1} ; P _{2,7,1,2} ; P _{1,7,2,2}
f _{2,7,2}	P _{2,7,1,1} ; P _{2,7,1,2} ; P _{1,7,2,2}
f _{3,7,1}	P _{2,7,1,1} ; P _{1,7,2,3}
f _{3,7,2}	P _{2,7,1,1} ; P _{1,7,2,3}
f _{3,7,3}	P _{2,7,1,1} ; P _{1,7,2,3}
f _{3,1,1}	P _{6,1,1,3}
f _{3,1,2}	P _{6,1,1,3}
f _{3,1,3}	P _{6,1,1,3}
f _{4,1,1}	P _{6,1,1,1} ; P _{6,1,1,2}
f _{4,1,2}	P _{6,1,1,1} ; P _{6,1,1,2}
f _{4,1,3}	P _{6,1,1,1} ; P _{6,1,1,2}
f _{5,1,1}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1} ; P _{1,1,2,1}
f _{5,1,2}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1} ; P _{1,1,2,1}
f _{5,1,3}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1} ; P _{1,1,2,1}
f _{6,1,1}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1}
f _{6,1,2}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1}
f _{6,1,3}	P _{1,1,1,1} ; P _{6,1,2,1} ; P _{6,1,1,1}
f _{7,1,1}	P _{1,1,1,4}
f _{7,1,2}	P _{1,1,1,3} ; P _{1,1,1,4}
f _{7,1,3}	P _{1,1,1,3} ; P _{1,1,1,4}

Tabla 17. Rutas posibles según solicitud de los paquetes. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describirá cada una de las etapas de cálculo.

Cálculo de la carga computacional actual de los nodos

Para obtener un indicador de la carga computacional actual de cada nodo se adoptarán los mismos tres criterios en los siete nodos:

$$\text{card}(\{\text{criterios}\}) = 3$$

$$\text{criterios} = \{\% \text{ de uso de la CPU}, \% \text{ de uso de la memoria}, \% \text{ de paquetes en el nodo}\}.$$

Los valores que se asumirán para los indicadores de carga computacional de los siete nodos y el cálculo de carga promedio para cada nodo se muestran en la tabla 18.

Nodos	Valores de los Criterios			
	% de uso de la CPU	% de uso de la memoria	% de paquetes en el nodo	
1	65	70	60	Promedio: 65
2	70	60	60	Promedio: 63,33
3	60	55	60	Promedio: 58,33
4	50	45	50	Promedio: 48,33
5	80	75	70	Promedio: 75
6	68	50	55	Promedio: 57,66
7	39	40	40	Promedio: 39,66

Tabla 18. Valores de los criterios para medir la carga computacional en cada nodo. Fuente: Elaboración propia.

Establecimiento de las categorías de carga computacional y de los vectores de pesos asociados a las mismas. En esta propuesta las categorías serán las mismas para todos los nodos: Alta (si la carga es mayor al 70%), Media (si la carga está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si la carga es menor al 40%).

$$\text{card}(\{\text{categorías}\}) = 3$$

$$\text{categorías} = \{\text{Alta}, \text{Media}, \text{Baja}\}.$$

Los valores que se obtienen para las categorías de carga en base a los promedios mostrados en la tabla 18, se indican en la tabla 19.

Nodos	Valores de las Categorías
1	Media
2	Media
3	Media
4	Media
5	Alta
6	Media
7	baja

Tabla 19. Valores de las categorías para medir la carga computacional en cada nodo destino. Fuente: Elaboración propia.



Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías de carga computacional actual de cada nodo se utilizarán, para todos los nodos y para todas las categorías de carga, los siguientes criterios: N° de paquetes en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual y prioridad promedio de los paquetes en el nodo.

$$\text{card}(\{\text{critpref}\}) = 5$$

criterios para preferencias = {N° de paquetes en el nodo, % de uso de CPU, % de uso de memoria, % de uso de memoria virtual, prioridad promedio de los paquetes en el nodo}

Seguidamente se deben establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de carga, que serán iguales para todos los nodos, lo cual se indica en la tabla 20.

Categorías	Pesos				
	N° Paq.	% CPU	% Mem.	% MV	Prioridad Promedio de Paq. en el nodo
Alta	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
Media	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2
Baja	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1

Tabla 20. Pesos asignados a los criterios para calcular la prioridad o preferencia que cada nodo otorgará a cada requerimiento de posible ruta para cada paquete según la carga del nodo. Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de los pesos asignados a los distintos criterios es 1 para cada una de las categorías, o lo que es lo mismo, que la suma de elementos del vector de pesos de cada categoría es 1.

Cálculo del estado actual de los enlaces

Para obtener un indicador del estado actual de los enlaces se adoptarán los mismos tres criterios para todos los enlaces:

$$\text{card}(\{\text{criteriosenlaces}\}) = 3$$

criteriosenlaces = {factor de velocidad de transmisión (% de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (% de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (% de capacidad disponible en el canal)}.

Las velocidades de los enlaces para este escenario están indicadas en la figura 1.

Los valores que se asumirán para los indicadores del estado de los siete enlaces del escenario propuesto y el cálculo de estado promedio para cada enlace se muestran en la tabla 21.

Enlaces	Valores de los Criterios			
	% de Velocidad	% de Paquetes Transmitidos sin Error	% de Capacidad Disponible en el Canal	%Promedio
e ₁	67	70	90	Promedio: 75,67
e ₂	78	80	80	Promedio: 79,33
e ₃	33	90	70	Promedio: 64,33
e ₄	89	50	60	Promedio: 66,33
e ₅	11	50	50	Promedio: 37
e ₆	100	9	10	Promedio: 39,67
e ₇	61	65	70	Promedio: 65,33
e ₈	94	60	50	Promedio: 68
e ₉	27	45	60	Promedio: 44
e ₁₀	16	30	20	Promedio: 22

Tabla 21. Valores de los criterios para medir el estado de cada enlace. Fuente: Elaboración propia.

Establecimiento de las categorías de estado de los enlaces y de los vectores de pesos asociados a las mismas
En esta propuesta las categorías serán las mismas para todos los enlaces: Alta (si es mayor al 70%), Media (si está entre el 40% y el 70% inclusive) y Baja (si es menor al 40%).

$$\text{card}(\{\text{categoríasenlaces}\}) = 3$$

categoríaenlaces = {Alta, Media, Baja}.

Los valores que se obtienen para las categorías de estado de los enlaces en base a los promedios mostrados en la tabla 21, se indican en la tabla 22.

Enlaces	Valores de las Categorías
e ₁	Alta
e ₂	Alta
e ₃	Media
e ₄	Media
e ₅	Baja
e ₆	Baja
e ₇	Media
e ₈	Media
e ₉	Media
e ₁₀	Baja

Tabla 22. Valores de las categorías para medir el estado de cada enlace. Fuente: Elaboración propia.

Para establecer los vectores de pesos asociados a las categorías del estado actual de cada enlace se utilizarán los siguientes criterios: factor de velocidad de transmisión (% de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (% de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (% de capacidad disponible en el canal).

$$\text{card}(\{\text{critprefenlaces}\}) = 3$$

criterios para preferencias enlaces = {factor de velocidad de transmisión (% de velocidad del enlace respecto de la velocidad del enlace de mayor velocidad), factor de confiabilidad (% de paquetes transmitidos sin error), factor de disponibilidad (% de capacidad disponible en el canal)}.

Seguidamente se deben establecer los valores correspondientes a los criterios constituyendo así los vectores de pesos para las distintas categorías de estado de enlaces, que serán iguales para todos los enlaces, lo cual se indica en la tabla 23.

Categorías	Pesos		
	Factor de Vel.	Factor de Conf.	Factor de Disp.
Alta	0,2	0,2	0,6
Media	0,5	0,1	0,4
Baja	0,5	0,3	0,2

Tabla 23. Pesos asignados a los criterios de enlaces para calcular la prioridad o preferencia que otorgará a cada requerimiento de ruta de cada paquete según el estado de cada enlace. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes teniendo en cuenta la carga del nodo destino, nodos intermedios si los hubiera, el estado de los enlaces y número de saltos (se las calcula en cada nodo destino, nodo intermedio, enlaces y número de saltos para cada paquete y podría llamárselas prioridades nodales, de enlaces y saltos)

Los vectores de valoraciones se aplican para cada requerimiento de una posible ruta hecho por un paquete, según los criterios establecidos para la determinación de la prioridad que en cada caso y momento fija el nodo destino, nodos intermedios si hubiera, el/los enlace/s y la cantidad de saltos en el cual se produce el requerimiento; cada vector de valoraciones de cada requerimiento se multiplica escalarmente por el vector de pesos correspondiente a la categoría de carga actual del nodo destino, nodo intermedio, estado de los enlaces y para el caso de los saltos se divide el valor 1 por la cantidad de saltos de esa ruta posible (1/n), así de esta manera se obtiene la prioridad según cada criterio para cada requerimiento; esto se muestra en la tabla 24. Esta tabla se construye a partir de la tabla 17 de rutas posibles según solicitud de los paquetes. Una vez obtenidos los valores parciales de los nodos, enlaces y saltos correspondientes a un paquete, los mismos se suman y se dividen por el número de componentes intervinientes en esa posible ruta (nodos, enlaces y número de saltos), cabe aclarar que por cuestiones de espacio solo se representan algunos cálculos es esta tabla.

Paquetes - Rutas	Criterios - Carga Nodal					Valor Final	Estado de los enlaces			Valor Final	Saltos	Prioridades de asignación de rutas	
	N° Paq.	% CPU	% Mem.	% MV	Prioridad Promedio de Paquetes		Factor de Veloc.	Factor de Conf.	Factor de Disp.				
Prj(1,1) F(1,1)	0,40	0,45	0,45	0,40	0,8	BAJA nodo 7	0,67	0,7	0,9	ALTA e1	1er		
	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,46	0,134	0,14	0,54	0,814			
	0,60	0,70	0,60	0,60	0,733	MEDIA nodo 2	0,78	0,8	0,8	ALTA e1	2do		
	0,12	0,21	0,12	0,06	0,1466	0,6566	0,156	0,16	0,48	0,796			
	0,50	0,45	0,50	0,50	0,8	MEDIA nodo 4	0,27	0,45	0,60	MEDIA e1	3er		
	0,1	0,13	0,1	0,05	0,16	0,145	0,135	0,045	0,24	0,42			
	0,55	0,70	0,50	0,55	0,733	MEDIA nodo 6	0,16	0,30	0,20	BAJA e1	4to		
	0,11	0,21	0,1	0,05	0,1466	0,6216	0,08	0,09	0,04	0,21			
	Prj(1,1) F(1,1)										0,25	0,53035	
	Prj(1,1) F(1,2)	0,40	0,45	0,45	0,40	0,8	BAJA nodo 7	0,67	0,7	0,9	ALTA e1	1er	
		0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,46	0,134	0,14	0,54	0,814		
0,60		0,70	0,60	0,60	0,733	MEDIA nodo 2	0,33	0,30	0,70	MEDIA e1	2do		
0,12		0,21	0,12	0,06	0,1466	0,6566	0,165	0,09	0,28	0,535			
0,60		0,60	0,55	0,60	0,733	MEDIA nodo 3	0,11	0,50	0,50	BAJA e1	3er		
0,12		0,18	0,11	0,06	0,1466	0,6166	0,055	0,15	0,1	0,305			
0,70		0,80	0,75	0,70	0,65	ALTA nodo 5	0,94	0,60	0,50	MEDIA e1	4to		
0,21		0,16	0,075	0,07	0,195	0,71	0,47	0,06	0,2	0,73			
0,55		0,70	0,50	0,55	0,733	MEDIA nodo 6	0,16	0,30	0,20	BAJA e1	5to		
0,11		0,21	0,1	0,05	0,1466	0,6216	0,08	0,09	0,04	0,21			
Prj(1,1) F(1,2)											0,2	0,532618	
Prj(1,1) F(1,3)	0,40	0,45	0,45	0,40	0,8	BAJA nodo 7	0,67	0,7	0,9	ALTA e1	1er		
	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,46	0,134	0,14	0,54	0,814			
	0,60	0,70	0,60	0,60	0,733	MEDIA nodo 2	0,33	0,30	0,70	MEDIA e1	2do		
	0,12	0,21	0,12	0,06	0,1466	0,6566	0,165	0,09	0,28	0,535			
	0,60	0,60	0,55	0,60	0,733	MEDIA nodo 3	0,11	0,50	0,50	BAJA e1	3er		
	0,12	0,18	0,11	0,06	0,1466	0,6166	0,055	0,15	0,1	0,305			
	0,70	0,80	0,75	0,70	0,65	ALTA nodo 5	0,94	0,60	0,50	MEDIA e1	4to		
	0,21	0,16	0,075	0,07	0,195	0,71	0,47	0,06	0,2	0,73			
	0,55	0,70	0,50	0,55	0,733	MEDIA nodo 6	0,16	0,30	0,20	BAJA e1	5to		
	0,11	0,21	0,1	0,05	0,1466	0,6216	0,08	0,09	0,04	0,21			
	Prj(1,1) F(1,3)										0,25	0,516466	
Prj(1,1) F(1,4)	0,40	0,45	0,45	0,40	0,8	BAJA nodo 7	0,67	0,7	0,9	ALTA e1	1er		
	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,46	0,134	0,14	0,54	0,814			
	0,60	0,70	0,60	0,60	0,733	MEDIA nodo 2	0,33	0,30	0,70	MEDIA e1	2do		
	0,12	0,21	0,12	0,06	0,1466	0,6566	0,165	0,09	0,28	0,535			
	0,60	0,60	0,55	0,60	0,733	MEDIA nodo 3	0,11	0,50	0,50	BAJA e1	3er		
	0,12	0,18	0,11	0,06	0,1466	0,6166	0,055	0,15	0,1	0,305			
	0,70	0,80	0,75	0,70	0,65	ALTA nodo 5	0,94	0,60	0,50	MEDIA e1	4to		
	0,21	0,16	0,075	0,07	0,195	0,71	0,47	0,06	0,2	0,73			
	0,55	0,70	0,50	0,55	0,733	MEDIA nodo 6	0,16	0,30	0,20	BAJA e1	5to		
	0,11	0,21	0,1	0,05	0,1466	0,6216	0,08	0,09	0,04	0,21			
	Prj(1,1) F(1,4)										0,25	0,532618	
Prj(1,1) F(1,5)	0,40	0,45	0,45	0,40	0,8	BAJA nodo 7	0,67	0,7	0,9	ALTA e1	1er		
	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,46	0,134	0,14	0,54	0,814			
	0,60	0,70	0,60	0,60	0,733	MEDIA nodo 2	0,33	0,30	0,70	MEDIA e1	2do		
	0,12	0,21	0,12	0,06	0,1466	0,6566	0,165	0,09	0,28	0,535			
	0,60	0,60	0,55	0,60	0,733	MEDIA nodo 3	0,11	0,50	0,50	BAJA e1	3er		
	0,12	0,18	0,11	0,06	0,1466	0,6166	0,055	0,15	0,1	0,305			
	0,70	0,80	0,75	0,70	0,65	ALTA nodo 5	0,94	0,60	0,50	MEDIA e1	4to		
	0,21	0,16	0,075	0,07	0,195	0,71	0,47	0,06	0,2	0,73			
	0,55	0,70	0,50	0,55	0,733	MEDIA nodo 6	0,16	0,30	0,20	BAJA e1	5to		
	0,11	0,21	0,1	0,05	0,1466	0,6216	0,08	0,09	0,04	0,21			
	Prj(1,1) F(1,5)										0,25	0,516466	

Tabla 24. Valoraciones asignadas a los criterios para calcular la prioridad o preferencia de cada paquete de ser asignado a una posible ruta teniendo en cuenta la carga del nodo destino, nodos intermedios (si hubiera), el estado de los enlaces y número de saltos. Fuente:

Elaboración propia.



Cálculo de las prioridades o preferencias de los paquetes para acceder a las posibles rutas (las calcula el administrador centralizado de rutas disponibles) y determinación del orden en que se asignarán las posibles rutas a los paquetes

A partir de las prioridades nodales, de enlaces y saltos se deben calcular las prioridades globales o finales, es decir, con qué prioridad, o sea en qué orden, las rutas posibles solicitadas serán otorgadas y a qué paquetes se hará dicho otorgamiento. Para el cálculo de las prioridades finales se utiliza la tabla 25.

Rutas	Prioridades Nodales, enlaces y saltos de los Paquetes													
	Pr _{1,1}	Pr _{1,2}	Pr _{1,3}	Pr _{1,4}	Pr _{1,5}	Pr _{1,6}	Pr _{1,7}	Pr _{1,8}	Pr _{1,9}	Pr _{1,10}	Pr _{1,11}	Pr _{1,12}	Pr _{1,13}	Pr _{1,14}
Pr _{1,1}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,2}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,4}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,5}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,6}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,7}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,8}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,9}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr _{1,14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 25. Prioridades nodales, de enlaces y saltos de los paquetes para acceder a cada posible ruta. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente corresponde calcular el vector de pesos finales que se utilizará en el proceso final de agregación para determinar el orden o prioridad de acceso a las rutas disponibles; esto se muestra en la tabla 26.



ganador al paquete que este primero en orden de la cola de espera del nodo); esto se muestra en rojo en la tabla 27.

La sumatoria de todos estos productos en relación a la misma ruta solicitada indicará la prioridad que tendrá dicha ruta para ser asignada. Esto constituye la Función de Asignación para Rutas disponibles (FARD), que se muestra en la tabla 28.

FARD	Prioridad Global Final Para Asignar la Ruta	Paquete
r _{1,7,2}	0,08559	r _{1,7,2} al p _{2,7,1,1}
r _{2,7,2}	0,07042	r _{2,7,2} al p _{2,7,1,2}
r _{3,7,2}	0,07876	r _{3,7,1} al p _{2,7,1,3}
r _{3,1,1}	0,04419	r _{3,1,1} al p _{6,1,1,3}
r _{4,1,1}	0,07396	r _{4,1,1} al p _{6,1,1,1}
r _{5,1,2}	0,10274	r _{5,1,2} al p _{7,1,1,2}
r _{6,1,2}	0,08664	r _{6,1,2} al p _{7,1,1,1}
r _{7,1,2}	0,07932	r _{7,1,2} al p _{7,1,1,3}

Tabla 28. Prioridades globales finales para asignar las rutas. Fuente: Elaboración propia.

El orden final de asignación de las rutas y los paquetes destinatarios de los mismos se obtiene ordenando la tabla 28, lo cual se muestra en la tabla 29.

Prioridad Global Final Ordenada	Asignación
0,10274	r _{5,1,2} al p _{7,1,1,2}
0,08664	r _{6,1,2} al p _{7,1,1,1}
0,08559	r _{1,7,2} al p _{2,7,1,1}
0,07932	r _{7,1,2} al p _{7,1,1,3}
0,07876	r _{3,7,1} al p _{2,7,1,3}
0,07396	r _{4,1,1} al p _{6,1,1,1}
0,07042	r _{2,7,2} al p _{2,7,1,2}
0,04419	r _{3,1,1} al p _{6,1,1,3}

Tabla 29. Orden o prioridad final de asignación de las rutas y paquete al cual se asigna cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

Segunda asignación de rutas a paquetes (Tabla 30 y 31).

Rutas	Prioridades Nodales, enlaces y saltos de los Paquetes (segunda asignación).												
	p _{1,7,1,2}	p _{1,7,1,3}	p _{1,7,1,1}	p _{1,7,2,2}	p _{1,7,2,1}	p _{6,1,1,2}	p _{6,1,1,1}	p _{4,1,1,2}	p _{7,1,1,1}	p _{6,1,1,2}	p _{6,1,1,1}	p _{7,1,1,4}	
r _{1,7,1}	0,02841	0,02841	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
r _{1,7,2}	0,02853	0,02853	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
r _{1,7,3}	0,02766	0,02766	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
r _{2,7,1}	0	0	0,02588	0,01725	0	0	0	0	0	0	0	0	
r _{2,7,2}	0	0	0,02641	0,01760	0	0	0	0	0	0	0	0	
r _{3,1,1}	0	0	0	0	0,01884	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 30. Prioridades globales finales (segunda vuelta) de los paquetes para acceder a cada ruta. Fuente: Elaboración propia.



Prioridad Global Final Ordenada	Asignación
0,05707	r _{5,1,2} al p _{6,1,2,1}
0,05706	r _{1,7,2} al p _{1,7,1,2}
0,04401	r _{2,7,2} al p _{1,7,1,1}
0,04332	r _{6,1,2} al p _{6,1,2,2}
0,03966	r _{7,1,2} al p _{7,1,1,4}
0,03698	r _{4,1,1} al p _{6,1,1,2}
0,01717	r _{3,7,2} al p _{1,7,2,1}

Tabla 32. Orden o prioridad final (segunda vuelta) de asignación de las rutas y paquete al cual se asigna cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

Tercera asignación de rutas a paquetes (Tabla 33 y 34)

Rutas	Prioridades Nodales, enlaces y saltos de los Paquetes (tercera asignación).				
	p _{1,7,1,3}	p _{1,7,2,2}	p _{4,1,1,2}	p _{7,1,2,1}	p _{4,1,1,1}
r _{1,7,1}	0,02841	0	0	0	0
r _{1,7,2}	0,02853	0	0	0	0
r _{1,7,3}	0,02766	0	0	0	0
r _{2,7,1}	0	0,01725	0	0	0
r _{2,7,2}	0	0,01760	0	0	0
r _{5,1,1}	0	0	0,02011	0,01005	0
r _{5,1,2}	0	0	0,02283	0,01141	0
r _{6,1,1}	0	0	0,02068	0,01034	0
r _{6,1,2}	0	0	0	0	0,02103
r _{6,1,3}	0	0	0	0	0,02166
r _{6,1,4}	0	0	0	0	0,02125

Tabla 33. Prioridades globales finales (tercera vuelta) de los paquetes para acceder a cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

FARD	Prioridad Global Final Para Asignar la Ruta (tercera vuelta)	Paquete
r _{1,7,2}	0,02853	r _{1,7,2} al p _{1,7,1,3}
r _{2,7,2}	0,01760	r _{2,7,1} al p _{1,7,2,2}
r _{5,1,2}	0,03424	r _{5,1,2} al p _{4,1,1,2}
r _{6,1,2}	0,02166	r _{6,1,2} al p _{4,1,1,1}

Tabla 34. Prioridades globales finales (tercera vuelta) para asignar las rutas. Fuente: Elaboración propia.

El orden final (tercera vuelta) de asignación de las rutas y los paquetes destinatarios de los mismos se obtiene ordenando la tabla 34, lo cual se muestra en la tabla 35.

Prioridad Global Final Ordenada	Asignación
0,03424	$r_{5,1,2}$ al $p_{4,1,1,2}$
0,02853	$r_{1,7,2}$ al $p_{1,7,1,3}$
0,02166	$r_{5,1,2}$ al $p_{4,1,1,1}$
0,01760	$r_{2,7,1}$ al $p_{1,7,2,2}$

Tabla 35. Orden o prioridad final (tercera vuelta) de asignación de las rutas y paquete al cual se asigna cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

Cuarta asignación de rutas a paquetes (Tabla 36 y 37)

Rutas	Prioridades Nodales, enlaces y saltos de los Paquetes (cuarta asignación).
	$p_{7,1,2,1}$
$r_{5,1,1}$	0,01005
$r_{5,1,2}$	0,01141
$r_{5,1,3}$	0,01034

Tabla 36. Prioridades globales finales (cuarta vuelta) de los paquetes para acceder a cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

FARD	Prioridad Global Final Para Asignar la Ruta (tercera vuelta)	Paquete
$r_{5,1,2}$	0,01141	$r_{5,1,2}$ al $p_{7,1,2,1}$

Tabla 37. Prioridades globales finales (cuarta vuelta) para asignar las rutas. Fuente: Elaboración propia.

El orden final (cuarta vuelta) de asignación de las rutas y los paquetes destinatarios de los mismos se obtiene ordenando la tabla 37, lo cual se muestra en la tabla 38.

Prioridad Global Final Ordenada	Asignación
0,01141	$r_{5,1,2}$ al $p_{7,1,2,1}$

Tabla 38. Orden o prioridad final (cuarta vuelta) de asignación de las rutas y paquete al cual se asigna cada ruta. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se han atendido todas las solicitudes de rutas de todos los paquetes respetando las prioridades de los paquetes, las prioridades nodales, las prioridades finales y considerando la mejor ruta disponible.

5. Resultados y conclusiones

El modelo propuesto logra que el tráfico en redes para datagramas se auto regule reiteradamente en función del estado local de los n nodos, estado de los enlaces e y cantidad de saltos establecidos en una ruta posible asignada, produciéndose una actualización de los estados locales de los mismos como consecuencia del despacho de sus respectivos paquetes y de las decisiones de acceso a las rutas posibles.

En el tráfico de redes en el que se asignan rutas a paquetes, se observa a sí mismo y produce decisiones de accesos a rutas disponibles que modifican el estado del sistema y lo reajustan reiterativamente, garantizándose además el acceso a una sola ruta a los paquetes, indicándose la prioridad de otorgamiento de acceso a cada ruta posible y el paquete al cual se lo asigna; este proceso se repite mientras haya paquetes que soliciten acceso a rutas disponibles.

Esto incluye como caso particular el conocido método de asignación de rutas según menor cantidad de saltos.

En base a los cálculos obtenidos se observa que la mejor ruta disponible, para el escenario de datagramas resultó ser la que poseía el mayor resultado promedio entre los estados de los nodos, estado de los enlaces y saltos intervinientes de cada ruta posible para el despacho de paquetes.

Se recuerda que este modelo también puede ser usado eventualmente para la constitución de circuitos virtuales.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Ríos, D. A.; La Red Martínez, D. L. (2019). Nuevo modelo de decisión para gestión de tráfico en redes. *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies (IJISEBC)*, 6(2), 99-122. (www.ijisebc.com)

Referencias

Aiken, B.; Bahl, V.; Bhattacharjee, B.; Braden, B. (2002). Report of NSF Work-shop on Network Research Testbeds. Technical report, National Science Foundation, Directorate for Computer and Information Science and Engineering, Advanced Networking Infrastructure & Research Division.

Floyd, S. (2000). Congestion Control Principles. RFC2914, Network Working Group, Best Current Practice.

Floyd, S.; Kohler, E. (2002). Internet Research Needs Better Models. In ACM SIGCOMM First Workshop on Hot Topics in Networks (HotNetsI). Princeton, New Jersey. USA. (<http://www.icir.org/floyd/papers.html>)

La Red Martínez, D. L. (2017). Aggregation Operator for Assignment of Resources in Distributed Systems. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(10), 406-419.