



# Prospectiva del ajuste de parámetros de un sistema telemático

**Claudio Parra**

Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela  
orcid: 0009-0009-8884-1982  
claudio.parra01@gmail.com  
Caracas-Venezuela

**Fecha de recepción: 15/07/2023**

**Fecha de aprobación: 28/08/2023**

## Resumen

El control de congestión es una herramienta clave en las redes telemáticas. Aquí se presenta un estudio de tipo prospectivo de un método de ajuste de parámetros del sistema telemático TCP-RED (redes alámbricas) para validar su potencial en el control de congestión. Es reportado que los parámetros de ajuste del sistema TCP-RED son problemáticos. El método de ajuste es una alternativa con la teoría de control, usando variables de estado y el concepto de estabilidad en sistemas discretos, para las redes que usan TCP-RED. Se trabaja con la metodología de "Scanning" mediante la consulta de trabajos asocia-

dos y la matriz DOFA, para estudiar generalidades de las variantes de RED, las cuales han crecido significativamente en el mundo de redes de datos. Mediante la matriz DOFA del método de ajuste de parámetros, se puede ver el panorama de desempeño en la red y también de algunas variantes relativamente nuevas de la familia heredada de RED. Finalmente es encontrado variantes de RED y TCP para el control de congestión con diferentes aplicaciones y se concluye sobre la efectividad del método de ajuste de parámetros en las redes telemáticas para el control de congestión.

## Palabras clave:

RED (*Random Early Detection*); TCP (*Transmission Control Protocol*); variante de RED; variables de estado; estabilidad

## Prospective adjustment of a telematics system

### Abstract

Congestion control is a key tool in telematic networks. Here it is present a prospective study of a parameter adjustment method of the TCP-RED telematics system (wired networks) to validate its potential in congestion control. It is reported that the TCP-RED system adjustment parameters are problematic. The adjustment method is an alternative to control theory, using state variables and the concept of stability in discrete systems, for networks which use TCP-RED. The "Scanning" methodology is used by consulting associated works and the FODA matrix, to

studies generalities of the RED variants, which have grown significantly in the world of data networks. Using the FODA matrix of the parameter tuning method, one can see the performance landscape of the network and of some relatively new variants of the legacy RED family. Finally, variants of RED and TCP are found for congestion control with different applications and the effectiveness of the method of parameter adjustment in telematic networks for congestion control is concluded.

### Keywords:

RED (Random Early Detection); TCP (Transmission Control Protocol); RED variant; state variables; stability



## Introducción

El presente trabajo permite validar el método de ajuste de parámetros del algoritmo RED (*Random Early Detection*) junto a TCP (*Transmission Control Protocol*). Este método de ajuste de parámetros es presentado en Parra (2010). Mediante un estudio de métodos de prospectiva tecnológica, es analizado y valorado su uso en escenarios actuales. Para la prospectiva tecnológica se usa exploración o *scanning* y la matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas, amenazas).

Con la técnica de exploración o *scanning*, se busca involucrar la observación y monitoreo de las versiones de TCP y RED que son presentadas en la comunidad científica de manera formal en las redes de internet académicas. El sistema TCP-RED es abordado agregando consideraciones generales de la primera versión de RED y TCP Vegas; ya que son muchas las variantes que han salido a la luz después de que en 1993 fuera propuesto el original. El propósito del método de ajuste de parámetros obedece a que es reportada la dificultad de seleccionar los parámetros de RED en una red (Ryu, S. y Rump, C. 2003). Con la teoría de control y la prospectiva tecnológica se ofrece una alternativa para optimizar el ajuste de parámetros de los indicadores del sistema.

Para la organización del trabajo se introduce TCP, donde se muestran la evolución del tratamiento de la ventana de congestión en algunas versiones. Luego, se introduce a RED, mostrando cómo funciona el algoritmo para procesar paquetes en la red donde es usado. A continuación se presentan las variables de estado, ya que el sistema TCP-RED

es considerado como un sistema discreto. Se pasa a mostrar el método de ajuste de los parámetros del sistema TCP-RED y luego las matrices DOFA del método de ajuste del sistema TCP-RED, y dos de las versiones más recientes de RED. Se finaliza con unos experimentos del método y las conclusiones.

## Metodología

Este estudio se fundamenta en que los sistemas telemáticos pueden ser modelados como sistemas discretos. Por lo que se necesita un modelo para aplicar la teoría de control (Ohsaki, H. y Murata, M., 2002). Mediante este modelo se puede analizar la estabilidad del sistema TCP-RED, lo que significa que su comportamiento será óptimo, es decir, ofrece a la red calidad de servicio. Esto se traduce en reducción de pérdida de paquetes. Para el enfoque prospectivo, se seleccionaron dos versiones de RED: AGARED y DyRED. Este tipo de análisis DOFA no ha sido reportado como hecho sobre esta tecnología, por lo que permite otra visión. Para el enfoque prospectivo, se señala que la red Internet ha permitido tener acceso a diferentes trabajos con fechas recientes a la escritura de este documento. La parte experimental ofrece una vista completa del método propuesto de ajuste de los parámetros del sistema TCP-RED, lo que es suficiente para efectos de la prospectiva. Las curvas de ajuste permiten obtener puntos de operación óptimos para la red que se estudie.

## Protocolo TCP

El protocolo TCP o protocolo de control de transmisión es usado ampliamente en las redes de Internet. Para este trabajo mencionaremos dos cosas: la primera, que existen muchas variantes, por ejemplo: Tahoe, Reno, Vegas, New Reno, Westwood, Hybla e Illinois, entre otras (Welz, 2005: p. 130). Cada una con su desarrollo matemático particular que las justifican una vez que fueron presentadas a la comunidad de

las redes. El segundo es que, para este trabajo y sus derivados, según las ecuaciones tomadas en cuenta, la ventana de congestión ( $W$ ) se divide ante el crecimiento de tráfico en el sistema TCP-RED, es decir,  $\beta * W$ . En este caso, se usó  $\beta=0,5$ , que corresponde a TCP-Vegas, aunque  $\beta$  se puede cambiar para lograr otros estudios. En la Tabla N° 1 se muestra cómo se comporta la ventana de congestión  $W$ , en varias versiones de TCP. Estas pueden ser útiles para tráfico severo.

**Tabla N° 1.** Manejo de la ventana de TCP y sus variantes

Protocolo	Ajuste de la ventana	Cuando se produce	Reacción a la pérdida
TCP Reno	$w \leftarrow w + 1/w$	Por confirmación	$w \leftarrow w * 0,5$
HSTCP	$w \leftarrow w + w(\alpha)/w$	Por confirmación	$w \leftarrow w + b(w)w$
STCP	$w \leftarrow w + \alpha$	Por confirmación	$w \leftarrow w - bw$
BIC TCP	$w \leftarrow w + \frac{\alpha}{w}, \alpha \in \{S_{min}, S_{max}\}$	Por confirmación	$w \leftarrow w * \beta$
Fast TCP	$w \leftarrow \min\{2w, (1 - \gamma)w + \gamma \left( \left( \frac{baseRTT}{RTT} \right) * w + \alpha \right)\}$	periódico	$w \leftarrow w + 0,5 * w$

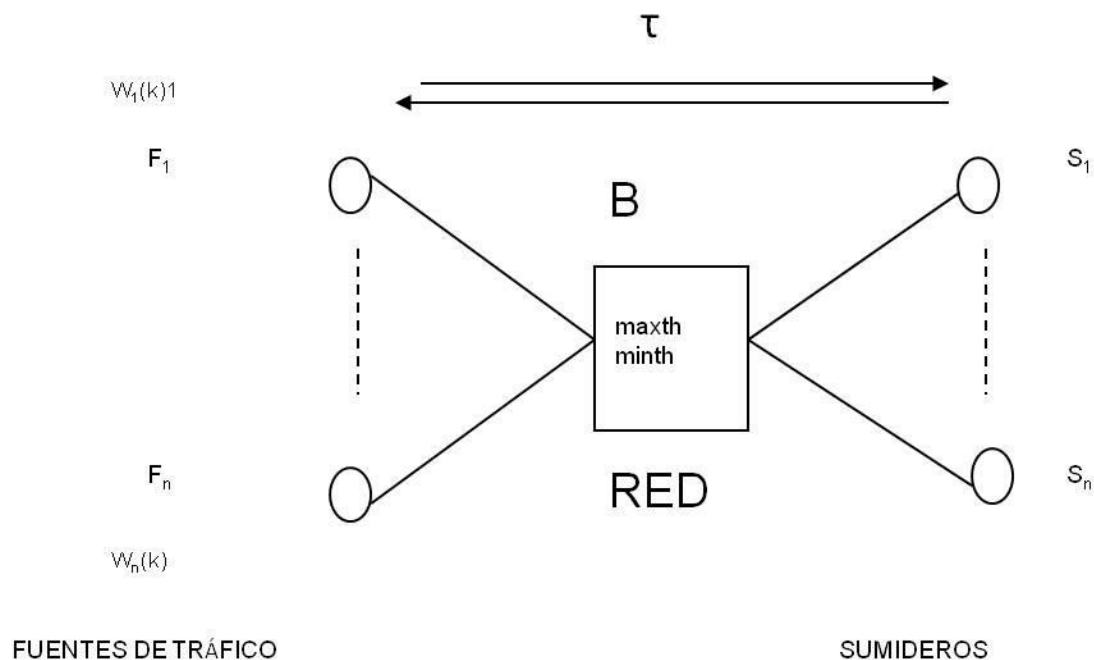
**Fuente:** Elaboración propia (2023).

## Algoritmo RED

Uno de los mecanismos más importantes y utilizado para lograr el control de congestión en redes de Internet es el algoritmo RED (*Random Early Detection*) (Floyd, S. y Jacobson, V., 1993). La idea de usar un servidor con el algoritmo RED programado es mantener un promedio de longitud de la cola de paquetes bajo

(esto se observa en la memoria *buffer* a la entrada del servidor). Lo que hace el algoritmo RED es que descarta aleatoriamente los paquetes de entrada con una probabilidad proporcional al promedio de la longitud de cola. Según los creadores del algoritmo RED (Floyd, S. y Jacobson, V., 1993) este tiene ventajas sobre otros métodos, como Drop Tail, las cuales son posibles resumir de la manera siguiente en la Figura N° 1:

Figura N° 1. Manejo de la ventana de TCP y sus variantes



Fuente: Elaboración propia (2023).

1. El promedio de la longitud de cola lo mantiene bajo, por lo que el retardo de extremo a extremo de una conexión TCP es bajo también (Floyd, S. y Jacobson, V., 1993).
2. RED no tiene desventajas para el tráfico en ráfagas (Floyd, S. y Jacobson, V., 1993).
3. La sincronización global de conexiones TCP ha sido prevista (Floyd, S. y Jacobson, V., 1993). El modelo analítico de una red de datos se muestra en el Gráfico N° 1 donde:  $n$  es el número de conexiones TCP,  $\tau$  es la latencia,  $B$  es la velocidad de procesamiento,  $Wn(k)$  es el tamaño de la ventana del servidor  $n$  (fuente) y la ranura  $k$  (ranura es una porción de espacio que ocupa un número determinado de bits en la señal que se estudia),  $F1-Fn$  son las fuentes de tráfico,  $S1-Sn$  son los sumideros y TCP.

Una dificultad importante para la aplicación del algoritmo RED consiste en que sus parámetros son difíciles de ajustar para la red donde se implementa (Ryu, 2003: p. 32). Cada vez que un paquete nuevo llega a la cola del enrutador (servidor con RED), se estima una longitud promedio de la cola usando un proceso EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) utilizando la siguiente ecuación:

$$avg=(1-w_q) * avg+w_q * q \quad (1)$$

Donde:

avg: longitud promedio de cola estimada;

$q$ : longitud instantánea de cola;

$w_q$ : factor de peso (constante de tiempo del filtro pasa bajos).

Este valor de  $avg$  es comparado por dos umbrales  $min_{th}$  y  $max_{th}$  que representan el valor mínimo y máximo de la ventana por donde entran los paquetes y son marcados (Gráfico N° 1). Si el valor promedio es menor que  $min_{th}$ , no pasa nada, pero si es más grande que  $max_{th}$  el paquete es

desechado. Para los valores intermedios es marcado con un valor entre 0 y  $max_p$ . Donde  $max_p$  es un valor probabilístico que se asocia a los paquetes marcados y es directamente proporcional al promedio de la longitud de la cola.

Para el estudio necesitamos definir un modelo analítico en el que Floyd (1993) indica:

1.  $q(k)$  que es el valor actual de la cola medido en paquetes;
2.  $q(k)$  que es el tamaño de cola promedio en la ranura (espacios de tiempo de la señal)  $k$  medido en paquetes.

Se asume que  $q(k)$  y  $q(k)$  no cambian durante cada ranura. Esto ha sido confirmado para valores pequeños de  $w_q$  que se usa un filtro para bajos para calcular  $q(k)$  (véase ecuación 1).

El servidor que ejecuta el algoritmo RED (servidor RED), calcula una probabilidad de marcado de paquetes  $p_b$  usando el promedio de longitud de cola para los paquetes que llegan. A continuación se muestra el mecanismo de marcado:

$$p_b(k) \text{ es } 0 \text{ si } q(k) < min_{th} \quad (2)$$

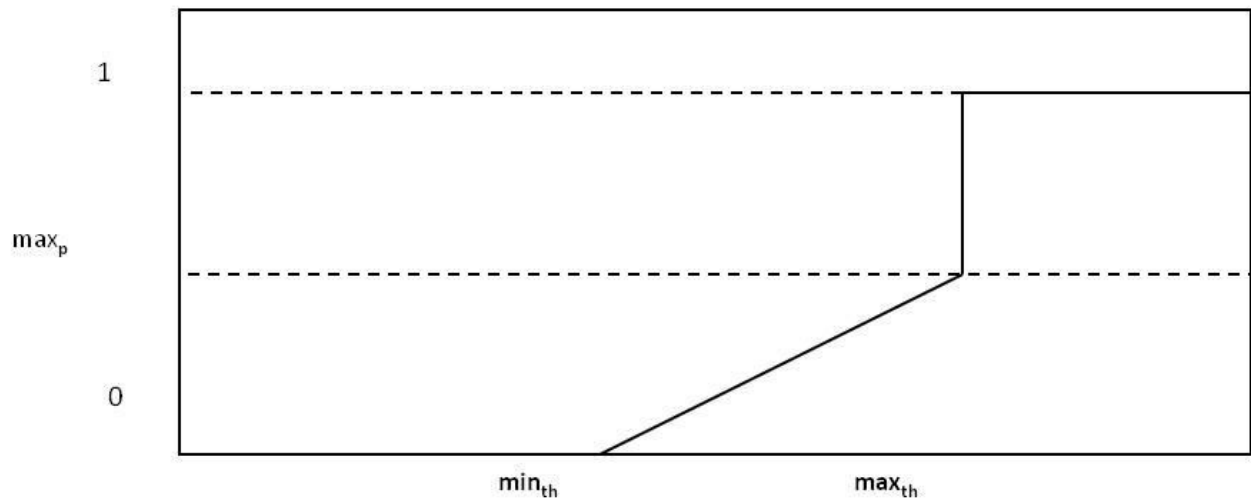
$$\text{es } 1 \text{ si } q(k) = 0 > max_{th}, \quad (3)$$

$$p_b(k) = \frac{(max_p * (q(k) - min_{th}))}{(max_{th} - min_{th})} \quad (4)$$



**Gráfico N° 1.** Algoritmo RED / Mercado de paquetes

Probabilidad de marcado (entre 0 y 1)



**Fuente:** Elaboración propia (2023).

Luego, el servidor RED aleatoriamente descarta cada paquete (k) de entrada con probabilidad  $p_a$ , según la siguiente ecuación:

$$p_a = \frac{p_b}{1 - \text{contador} * p_b} \quad (5)$$

El contador indica el número de paquetes no marcados que han llegado desde el último paquete marcado. El mecanismo de marcado de paquetes no es por flujo, sino por el número de paquetes. Para encontrar más información sobre RED es posible consultar a Floyd, S. y Jacobson, V. (1993), quienes recomiendan, según sus experimentos, los siguientes valores para el uso del algoritmo RED:

**Tabla N° 2.** Valores recomendados de RED

Valores	
Minth	5
Maxth	15
Maxp	0,1
Wq	0,002

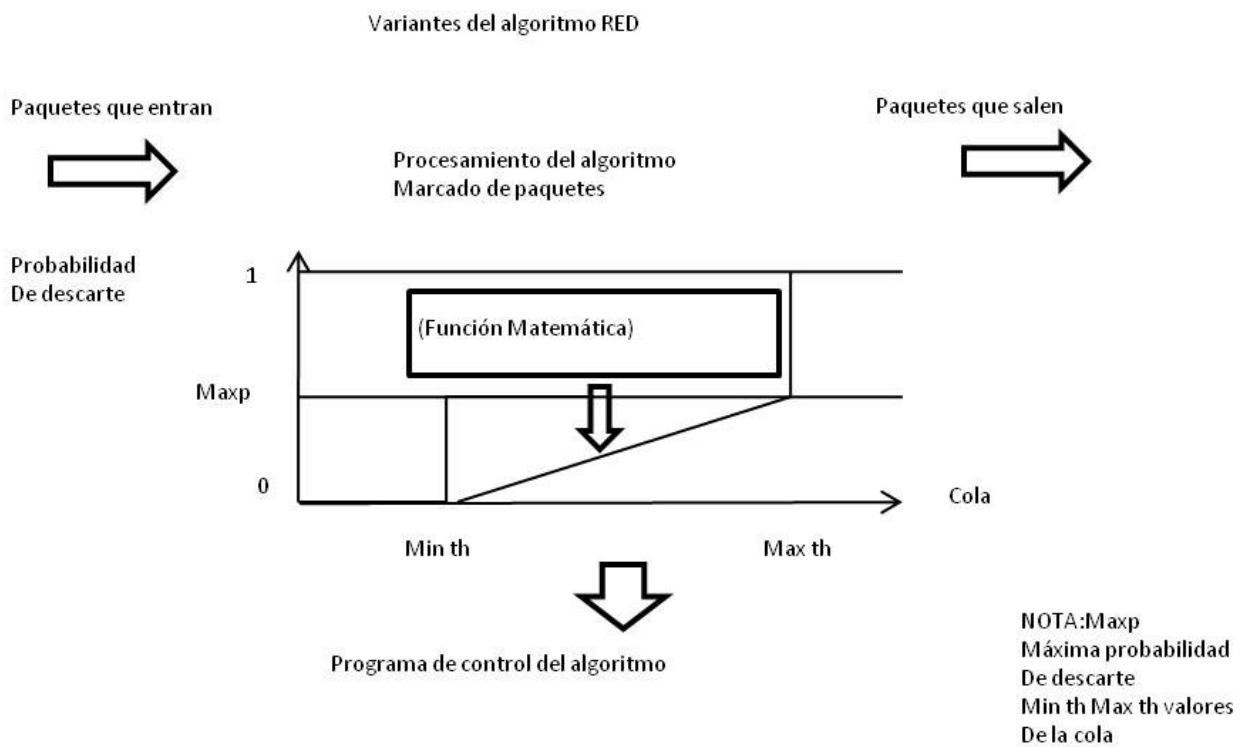
**Fuente:** Elaboración propia (2023).



En la Figura N° 2 resume que los algoritmos creados como evolución de RED original tienen un programa de control para el marcado de paquetes que cambia de versión en versión -y en algunos casos- incluye información de la red con BLUE (Feng, *et al.*, 2002). La función de transferencia de marcado de paquetes va-

ría con una función matemática, es decir, desde una recta hasta una función polinómica en el afán de procesar de mejor manera el tráfico que ve el enrutador que tiene el algoritmo variante de RED. La versión de RED involucra la función de transferencia (Abu-Shareha, A., 2019).

Figura N° 2. Esquema genérico de las variantes de RED



Fuente: Elaboración propia (2023).

### Variables de estado

Las variables de estado son usadas para modelar un sistema discreto, lo que consideramos para el sistema TCP-RED en cuestión. En Dorf, R. y Bishop, R. (2008), la representación en espacios de estado de un sistema lineal con p entradas, q salidas y n variables de estado se escribe de la siguiente forma:

$$x(t) = (t) * x(t) + (t) * u(t) \tag{6}$$

$$y(t) = (t) * x(t) + (t) * u(t) \tag{7}$$

Donde:  $x(t) \in \mathbb{R}^n$ ,  $u(t) \in \mathbb{R}^p$ ,  $y(t) \in \mathbb{R}^q$

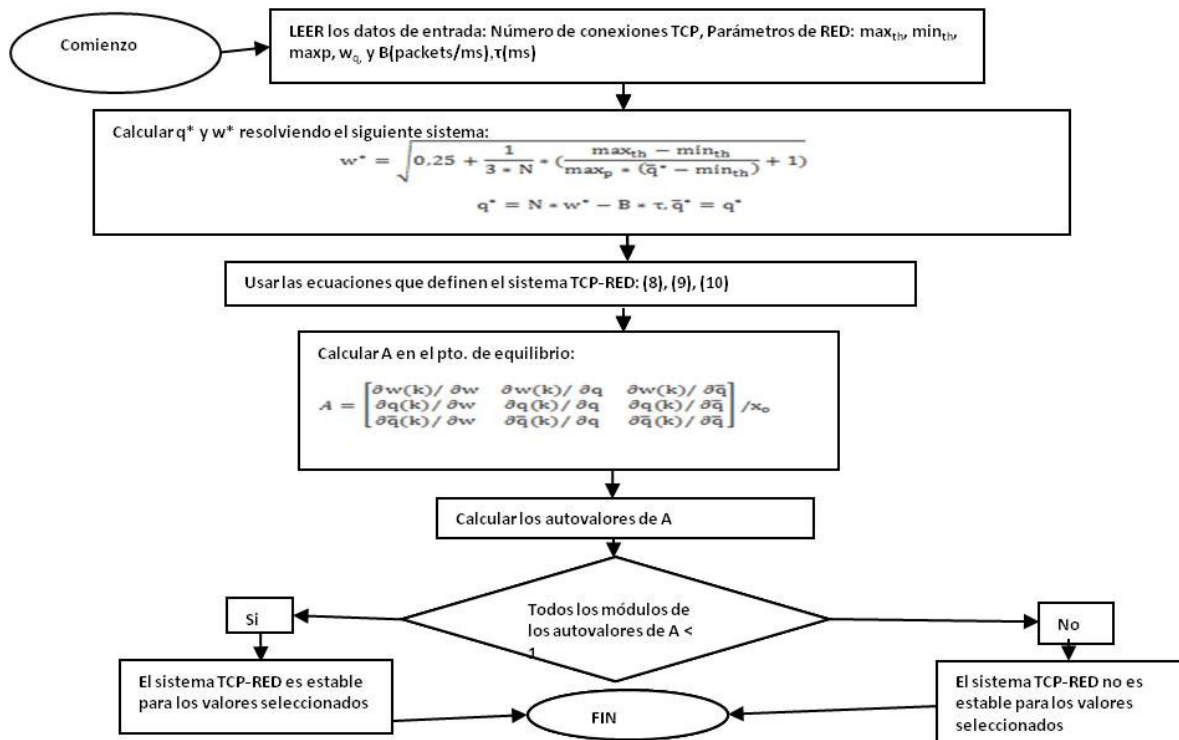
X es vector de estados, Y es el vector de salida, U es el vector de entradas o control, A es la matriz de estados, B es la matriz de entrada, C es la matriz de salida, D es la matriz de transmisión directa.

Los autovalores de la matriz A permiten el estudio de la estabilidad, y en un sistema discreto deben ser menor que "1" en el círculo unitario. Aquí se usa un desarrollo del círculo para comparar contra "1".

## Método propuesto de ajuste de los parámetros del algoritmo RED

En el Gráfico N° 4 se muestran los pasos del método de ajuste de los parámetros.

Figura N° 3. Diagrama de flujo de método de ajuste de parámetros



Fuente: Elaboración propia (2023).

El algoritmo RED fue presentado por Floyd y las recomendaciones sobre los valores de equilibrio son mencionados por ellos, sin embargo, al basarnos en la teoría moderna de control y la estabilidad del sistema TCP-RED, podrán ser encontrados valores de ajuste de los parámetros para diferentes casos. Una vez obtenidas las ecuaciones linealizadas que definen el sistema, es posible determinar el comportamiento del sistema mediante el uso de la posición de los autovalores. El modelo es discreto por lo que la magnitud de los autovalores de la matriz de Estados "A" del sistema linealizado TCP-RED deben estar dentro del círculo unitario para asegurar la estabilidad. Por medio de simulaciones presentadas en Parra (2010) se varían los parámetros específicos del algoritmo RED:  $min_{th}$  (valor mínimo de la ventana),  $max_{th}$  (valor máximo de la ventana),  $max_p$ , la probabilidad máxima de descarte,  $min_{th}-max_{th}$ , (ventana de RED),  $w_q$  (peso del filtro); y los parámetros de la red de datos:  $B$  (velocidad de procesamiento de paquetes) y  $\tau$  ( $\tau$ , tiempo de ida y vuelta), y así determinar límites operativos más convenientes para tener un sistema estable.

El sistema TCP-RED y las ecuaciones que resumen el procesos son (Parra, 2010 y Ohsaki, 2002):

1. (8) Representa la reacción de TCP frente a congestión.
2. (9) Representa la cola que incrementa con varios afluentes.
3. (10) Representa el filtro recursivo que usa el algoritmo RED.

$$w(k+s_k) = \frac{(w(k) + s_k - 1)}{2} \quad (8)$$

$$q(k+s_k) = N * (w(k) + s_k - 1) - B * \tau \quad (9)$$

$$q(k+s_k) = \quad (10)$$

Donde:

$$X_k = \sum_{n=1}^{\infty} n * P_k [X=n] = \frac{(\frac{1}{pb(k)} + 1)}{2} \quad (11)$$

$$p_b(k) = \frac{max_{x_p} * q(k) - min_{th}}{max_{th} - min_{th}} \quad (12)$$

$$s_k = 0.5 - w(k) + \sqrt{N^2 *} \quad (13)$$

$w$ : ventana de congestión

$q$ : longitud instantánea de cola

$q$ : Longitud promedio de cola

$N$ : es el número de conexiones TCP

$X_k$ : es el número de paquetes no marcados entre dos consecutivos marcados

$s_k$ : es el número de ranuras (espacios de tiempo de la señal) en una secuencia

$p_b(k)$ : probabilidad de marca

$max_p$ : probabilidad de descarte de los paquetes en la red donde funciona el sistema TCP-RED

$min_{th}$ : mínimo valor de la ventana TCP-RED

$max_{th}$ : máximo valor de la ventana TCP-RED (mientras más grande sea la ventana mayor cantidad de paquetes son recibidos)

$w_q$ : valor del filtro de RED (más pequeño menos paquetes pasan)

$\tau$ : retardo de tiempo en la red que cursa tráfico (se puede suponer que la red es grande por su valor grande o tiene problemas grandes de retardo)

$B$ : velocidad de procesamiento relativo, un valor alto significa más paquetes procesados, bajo menos paquetes.

$k$ : es un estado cualquier de todo el sistema

Con las ecuaciones del sistema TCP-RED (8, 9 y 10); y sea  $A$  la matriz de estados del sistema linealizado (Powell, 1998) en un punto de equilibrio denotado por  $(x_0)$ :

$$A = \frac{\begin{bmatrix} \partial w(k) / \partial w & \partial w(k) / \partial q & \partial w(k) / \partial q \\ \partial w(k) / \partial w & \partial w(k) / \partial q & \partial w(k) / \partial q \end{bmatrix} \cdot x_0}{\begin{bmatrix} \partial w(k) / \partial w & \partial w(k) / \partial q & \partial w(k) / \partial q \\ \partial w(k) / \partial w & \partial w(k) / \partial q & \partial w(k) / \partial q \end{bmatrix}} \quad (14)$$

El vector de estados  $x(k)$  es:

$$x(k) = \quad \quad \quad (15)$$

$T$  es matriz traspuesta (Powell, F. y Workman, J., 1998).

## Desarrollo de la prospectiva

De acuerdo con Betancourt (2022), el método cualitativo y mixto para la prospectiva para este trabajo es aplicando las metodologías hacia adelante o *forward*: denominadas exploración, comodín, panel de expertos, DOFA.

Exploración: durante varios años: 2007-2009 y 2018-2023 se ha explorado la Internet para recopilar información (*scanning*) de métodos de ajuste de parámetros de un sistema de control de congestión basado en la Internet usando la teoría de control moderna y no se encontró algo similar. Sin embargo, para los sistemas que usan RED todos concluyen que es difícil de entonar, por lo variante de la estructura y topología de las redes. Además, se encontraron muchas nuevas variantes.

El comodín lo consideramos si sucede una ampliación de la red de transporte, sobre todo, en sistemas ópticos donde las velocidades crecen generosamente,

entonces ante abundancia de servicios no hace falta represar o reenrutar tráfico en los enrutadores, es decir, no hay congestión. Esto beneficia la red y los usuarios. También si la electrónica se daña o es reemplazada: un caso negativo y un caso positivo.

Panel de expertos: a lo largo de estos estudios se consultaron a los administradores de la Internet 2 y la recomendación fue que RED, todavía en esas redes, tiene larga vida; y que su uso sería en los extremos de la red.

## DOFA

Basado en la misión y la visión de los administradores de redes, la DOFA permite elaborar los objetivos estratégicos que se integrarán en el plan estratégico.

La DOFA responde 1) a la misión-visión; y 2) se sustenta con investigación de cada uno de sus elementos.

La DOFA tradicional tiene un problema, que apenas nos da la fotografía del momento presente; tenemos que contemplar el proceso dinámico hacia el futuro.

## DOFA con enfoque prospectivo

La DOFA con enfoque prospectivo es un sistema que vigila el futuro hacia el cual estamos enfocados, es multicausal y plantea futuros alternativos (Baena, 2016). Un uso actual de la matriz es la que involucra a la DOFA dinámica con cuatro cuadrantes en vez del cuadro tradicional de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (Figura N° 4). Para nuestro caso es una matriz

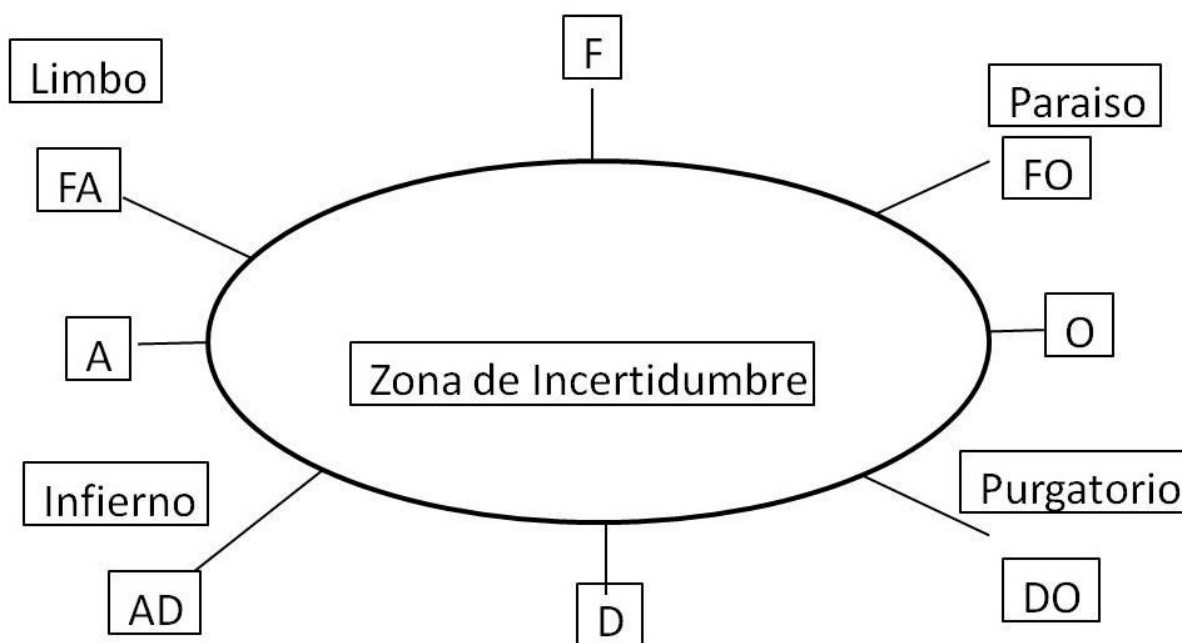
DOFA en el método y otra en las variantes de RED.

En la DOFA tradicional el análisis se hace en tiempo presente sin considerar que en el futuro todo se está moviendo y puede cambiar, así que es recomendable hacer las preguntas que nos lleven al futuro (Baena,

2016). El algoritmo RED ha heredado muchas variantes desde que, en 1993, fue propuesto. En las Tablas N° 3 y N° 4 están las matrices del método y dos variantes recientes de RED. A continuación una breve descripción de los componentes de la matriz.

Figura N° 4. Matriz sugerida (Baena, 2016)

### Matriz por zonas comparada en el Reino de Dios



Fuente: Elaboración propia (2023).

**Tabla N° 3.** Matriz DOFA del método de ajuste de parámetros de TCP-RED

Matriz DOFA	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No hace falta valores de tráfico reales.</li> <li>2. Es teórico y se aplica según el caso.</li> <li>3. Permite modificar los parámetros de TCP-RED.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No se muestran valores de tráfico de la red en estudio.</li> </ol>
Amenazas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Depende del desempeño de la electrónica del enrutador.</li> <li>2. Desligado de la capacidad de transporte de la red.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por ahora es a su escala su aplicación y según los escenarios preestablecidos.</li> </ol>

**Fuente:** Elaboración propia (2023).

**Tabla N° 4.** DOFA de dos variantes recientes de RED DOFA de versiones variantes recientes de RED AGARED y DyRED (Danladi, S. B. y Ambursa, F., 2019)

DOFA	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	Detecta y corrige la congestión en etapa temprana.	No considera la pérdida de paquetes.
Amenazas	No sabe si estará disponible para un enrutador con suficientes pruebas de entorno.	No hay prioridad de paquetes y robustez.

**Fuente:** Elaboración propia (2023).

#### **Fortalezas.** ¿Las tendremos? ¿Cuáles necesitaremos?

En el caso de las redes y el algoritmo RED con variantes, vale decir que hay dos elementos de la red de datos que son fortalezas: la transmisión y la electrónica, la primera por el ancho de banda que se dispone y la segunda le da la velocidad de procesamiento a la red. Hay que ver si se dispone de una red medianamente obsoleta o se va a construir desde cero. De esto último se dirá qué se necesita y qué se tiene.

#### **Oportunidades.** ¿Se presentarán?

Al igual que el caso anterior, la oportunidad es tener las partes necesarias para el funcionamiento de la red. También adecuada a la versión variante de RED que esté implementada en el momento.

#### **Debilidades.** ¿Todavía las tendremos? ¿Cuáles podrían ser?

Hay que estudiar el grupo conformado por medio de transmisión y el equipo de datos con RED para ver su estado de obsolescencia.

#### **Amenazas.** ¿Ocurrirán? ¿Qué afectará nuestro futuro?

Para responder a esta incertidumbre hay que ver el equipo en la vida útil y si habrá cortes en el medio de transmisión.

## Parte experimental

Para probar el método y encontrar los límites de estabilidad en términos de los parámetros de RED, se

han realizado varios experimentos, pero solo se incluye el primero significativo (Parra, 2010). Con simulaciones que incluyen el sistema TCP-RED en diferentes escenarios, se usaron las siguientes variantes de parámetros y fueron incluidos en los experimentos:  $N$ : 1, 2, 4, 8, 10, 15, 20;  $Max_p$ : 0,01-0,05- 0,1-0,2-0,4;  $min_{th}$ - $max_{th}$ : 5-10, 5-15, 5-20;  $B$ : 2, 4, 8; 1, 2, 4; y  $w_q$ : 0,02- 0,01-

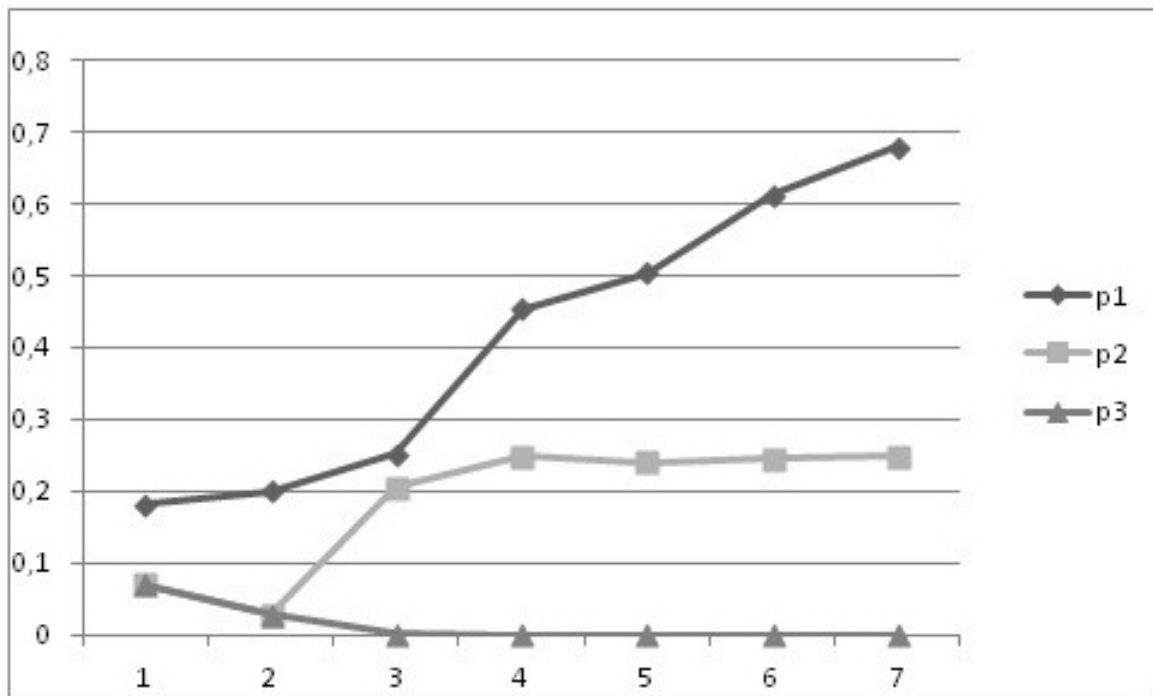
0,04. Se inició el grupo de experimentos determinando  $w(k)$  y  $q(k)$  usando (8), (9) y (10). Posteriormente, fue determinada la matriz de estados linealizada  $A$  y evaluada en el punto de equilibrio como se muestra en el apéndice. Para el *Caso 1* se fijan los parámetros del sistema TCP-RED y se varía  $N$  (Tabla N° 5).

**Tabla N° 5.** Estabilidad de  $A$  del *Caso 1* (autovalores)

Caso	1					
$N$ (1 a 20)	$Max_p$	$Min_{th}$	$Max_{th}$	$B$	$T$	$W_q$
1	0,01	5	10	2	1	0,02
2	0,01	5	10	2	1	0,02
4	0,01	5	10	2	1	0,02
8	0,01	5	10	2	1	0,02
10	0,01	5	10	2	1	0,02
15	0,01	5	10	2	1	0,02
20	0,01	5	10	2	1	0,02

**Fuente:** Elaboración propia (2023).



**Gráfico N° 2.** Estabilidad de A del Caso 1 (autovalores)

**Fuente:** Elaboración propia (2023).

En el Gráfico N° 2 el sistema es estable en el intervalo de N de 0 a 20 porque los autovalores son menores a 1. Sin embargo, se observa que cuando crece N, los valores de la estabilidad tienden a 1 y se puede extrapolar que a valores mayores puede haber inestabilidad en el tráfico de paquetes.

## Conclusión

1. Los resultados experimentales para el caso seleccionado muestran que es posible mover el punto de operación (referido con los parámetros de RED:  $max_p$ ,  $min_{th}$ ,  $max_{th}$ , etcétera) y sigue en estabilidad el sistema TCP-RED (autovalores menores a 1).

2. Con el *scanning* se observa que hay una gran cantidad de versiones de TCP (Tabla 1) con parámetros más rigurosos unos que otros. Lo mismo aplica para las variantes de RED.

3. La matriz DOFA muestra que para las redes actuales donde hay requerimientos grandes de servicios, solo adelantarse a la congestión es desbalanceado para no cuidar la calidad de servicio con la pérdida de paquetes.

4. Un comodín del análisis prospectivo es los avances de la electrónica, que se traducen en más capacidades al servicio de las redes telemáticas: redes ópticas.

5. Un método que considera el tráfico de una red y no requiere de valores para dar un resultado de operatividad puede ser útil en redes pequeñas para su desempeño con calidad.

## Referencias

Abu-Shareha, A. (2019). *Enhanced Random Early Detection using responsive Congestion indicators*. IJACSA, 10(3). <https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=10&Issue=3&Code=IJACSA&SerialNo=47>

Ahmed, A. y Nasrelden, N. (2018). *New congestion control algorithm to improve computer network performance*. 2018 International Conference on Innovative Trend in Computer Engineering. Aswan, pp. 87-93. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8316605/>

Baena, G. (2016). *Prospectiva: sus métodos y técnicas*. Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C. <https://iapem.edomex.gob.mx/editorial/revistas/2016LPSMT.pdf>

Betancourt, R. (2022). *Viendo el futuro a través de la prospectiva tecnológica*. Revista Observador del Conocimiento, 7 (3), pp. 144-163.

Danladi, S. y Ambursa, F. (2019). *Dyred: an enhanced random early detection based on a new adaptive congestion control*. ICECCO. Nigeria, pp. 1-5. <https://www.semanticscholar.org/paper/DyRED%3A-An-Enhanced-Random-Early-Detection-Based-on-Danladi-Ambursa/cbc8967796e5c56b899cafb69a9e5df22ce9e594>

Dorf, R. y Bishop, R. (2008). *Modern Control Systems*. Prentice Hall, USA.

Feng, W. et al. (2002). *The blue active queue management algorithm*. IEEE/ACM Transactions on networking. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1026008>

Floyd, S. y Jacobson, V. (1993). *Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance*. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1 (4), pp. 397-413. <https://www.icir.org/floyd/papers/early.twocolumn.pdf>

Giménez, A. et al. (2022). *New RED Type TCP-AQM algorithms based on Beta Distributions drop functions*. Appl. Sci. MDPI. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/11176>

Ohsaki, H. y Murata, M. (2002). *Steady State Analysis of the RED gateway: stability, Transient Behavior, and Parameter Setting*. IEICE Trans. Commun., E85-B, (1), pp. 1-26. [https://www.anarg.jp/achievements/annual\\_report/web2001/papers/oosaki01ieice-RED.pdf](https://www.anarg.jp/achievements/annual_report/web2001/papers/oosaki01ieice-RED.pdf)

Parra, C. (2010). *Análisis del algoritmo red con la teoría de control moderna*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 25 (1).

Powell, F. G. y Workman, J. (1998). *Digital Control of Dynamic Systems*. Adison-Wesley Press.

Ryu, S. y Rump, C. (2003). *Advances in internet congestion control*. IEEE Communications. Third Quarter, 5 (1). <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/COMST.2003.5342228>

Srikant, R. (2004). *The Mathematics of Internet Congestion Control*. Birkäuser.

Welzl, M. (2005). *Network Congestion Control*. Wiley.