

AQS – AQS

Authored by
memjavad

October 29, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). AQS – AQS. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=2007>

Gestión Activa de Colas (GAQ) / Active Queue Management Systems (AQS)

Primary Disciplinary Field(s): Ingeniería de Redes, Ciencias de la Computación, Telecomunicaciones.

1. Definición Central

La **Gestión Activa de Colas (GAQ)**, conocida por sus siglas en inglés como Active Queue Management (AQS o AQM), constituye un conjunto fundamental de algoritmos y políticas implementadas en los dispositivos de red, especialmente en los enrutadores (routers), cuyo propósito primordial es mitigar y prevenir la **congestión de red**. A diferencia de las políticas tradicionales de descarte de cola (como el descarte al final o **Drop Tail**), que solo actúan cuando el búfer de un dispositivo está completamente lleno, la GAQ introduce mecanismos proactivos para señalar o descartar paquetes antes de que se produzca una saturación total. Este enfoque proactivo es crucial porque permite que los protocolos de control de flujo, como el **Protocolo de Control de Transmisión (TCP)**, detecten la inminente congestión de manera temprana y ajusten sus tasas de envío de datos antes de que el rendimiento de la red colapse. La GAQ, por lo tanto, se posiciona como una herramienta esencial para mantener una alta utilización del enlace, al tiempo que minimiza la latencia y maximiza la equidad entre los flujos de tráfico.

El concepto central detrás de la GAQ radica en transformar la función de la cola de red de un simple depósito pasivo a un elemento de control activo. En un sistema sin GAQ, la congestión se manifiesta como un fenómeno binario: o la cola está vacía o está completamente llena, lo que resulta en el temido problema conocido como **bufferbloat**, donde los búferes excesivamente grandes causan latencias elevadas e innecesarias. Al implementar GAQ, el enrutador monitorea continuamente la longitud promedio de la cola o el tiempo de permanencia de los paquetes y aplica una función probabilística o determinística para marcar o descartar paquetes cuando la congestión comienza a acumularse. Esta señalización temprana fuerza a los emisores TCP a reducir su ventana de congestión, logrando así una gestión más suave y controlada de los recursos compartidos, lo que es vital para aplicaciones sensibles a la latencia, como la voz sobre IP (VoIP) y los juegos en línea.

La efectividad de la GAQ se mide por su capacidad para mantener la longitud de la cola en un rango operativo ideal: suficiente para absorber ráfagas de tráfico, pero no tan grande como para introducir retrasos significativos. Es importante destacar que la GAQ no es una solución aislada, sino un complemento fundamental a los mecanismos de control de congestión de extremo a extremo proporcionados por TCP. Su éxito depende de la interacción precisa entre la señal de congestión generada por el enrutador (descarte o marcado) y la respuesta algorítmica del host emisor. Esta simbiosis técnica garantiza que la red opere en un punto óptimo de equilibrio entre el rendimiento (throughput) y la experiencia del usuario (latencia).

2. Etimología y Desarrollo Histórico

El desarrollo de los sistemas de Gestión Activa de Colas tiene sus raíces en la crisis de congestión de Internet que se hizo evidente a finales de la década de 1980. Antes de la introducción de los mecanismos de control de congestión, las redes utilizaban principalmente el algoritmo **Drop Tail**, donde los paquetes se descartaban solo cuando la cola del búfer estaba completamente llena. Este método provocaba que la red entrara en un estado de colapso de congestión, conocido como el "efecto de sincronización global" o **Global Synchronization**, donde múltiples flujos TCP detectaban la congestión simultáneamente (al llenar el búfer) y reducían sus tasas, solo para aumentar sus tasas también de forma simultánea, creando un ciclo vicioso de congestión y desocupación. Este comportamiento oscilatorio era extremadamente ineficiente y resultaba en un bajo rendimiento general.

La necesidad de una solución proactiva llevó a la investigación de mecanismos que pudieran proporcionar una señal de congestión de forma más gradual. El hito más significativo en la evolución de la GAQ fue la propuesta del algoritmo **Random Early Detection (RED)** en 1993 por Sally Floyd y Van Jacobson. RED fue el primer mecanismo de GAQ ampliamente aceptado y formalizado en el [RFC 2309 del IETF](#). La innovación de RED consistió en introducir el concepto de descarte probabilístico: en lugar de esperar a que el búfer se llenara, RED calculaba una longitud promedio de cola y, si esta superaba un umbral mínimo, comenzaba a descartar paquetes con una probabilidad creciente. Esta aleatoriedad evitó la sincronización global al obligar a diferentes flujos TCP a reducir sus ventanas en momentos ligeramente distintos, estabilizando así la red.

A pesar de la importancia histórica de RED, su implementación práctica reveló sensibilidades significativas a la elección de parámetros (umbrales mínimo y máximo). Esta dificultad en la sintonización impulsó el desarrollo de una segunda generación de algoritmos GAQ a partir de la década de 2000. El concepto de GAQ se amplió para incluir mecanismos que no solo se basaban en la longitud de la cola, sino también en el tiempo de retardo de los paquetes. Algoritmos como **CoDel (Controlled Delay)** y **PIE (Proportional Integral controller Enhanced)** surgieron como respuestas directas al fenómeno del bufferbloat, centrándose en mantener el retardo de cola bajo un objetivo fijo, en lugar de gestionar directamente el tamaño del búfer. Estos desarrollos más recientes han hecho que la GAQ sea una característica estándar y esencial en los sistemas operativos de red modernos y en la infraestructura de Internet de banda ancha.

3. Principios Fundamentales de Operación

Los principios operativos de la Gestión Activa de Colas están diseñados para lograr tres objetivos interrelacionados: baja latencia, alta utilización del enlace y equidad de flujo. Para alcanzar estos objetivos, los algoritmos de GAQ emplean dos estrategias principales: la medición de la congestión y la señalización temprana. La medición se realiza típicamente observando la longitud

promedio de la cola o el retardo de los paquetes en el búfer. Si la longitud promedio excede un umbral predefinido, esto indica una congestión persistente, no solo una ráfaga temporal, y se activa el mecanismo de señalización.

La **señalización temprana** puede tomar dos formas primarias: el descarte de paquetes o el marcado de paquetes. El descarte probabilístico, como se usa en RED, es el método tradicional y depende de la pérdida de paquetes para activar la respuesta de control de congestión de TCP. El marcado de paquetes, por otro lado, utiliza el mecanismo de **Notificación Explícita de Congestión (ECN)**. Con ECN, en lugar de descartar un paquete, el enrutador establece un bit específico en el encabezado IP del paquete. Cuando el paquete marcado llega al receptor, este notifica al emisor, y el emisor reduce su ventana de congestión de manera similar a como lo haría ante un descarte. ECN es preferido en muchos entornos modernos porque evita la pérdida real de datos, mejorando la eficiencia general del enlace, aunque requiere que tanto el emisor como el receptor y los enrutadores intermedios soporten ECN.

Un principio crítico de la GAQ moderna es la lucha contra el **bufferbloat**. El bufferbloat ocurre cuando los enrutadores utilizan búferes excesivamente grandes para evitar la pérdida de paquetes, pero el costo es un aumento masivo y sostenido de la latencia. Los algoritmos de GAQ de última generación, como CoDel (Controlled Delay), operan basándose en el tiempo y no en el tamaño. CoDel mide el "retardo mínimo de cola" (el tiempo que tarda un paquete en atravesar la cola) y si este retardo excede sistemáticamente un objetivo predefinido (por ejemplo, 5 ms), el algoritmo comienza a descartar paquetes. Al centrarse en el retardo, la GAQ asegura que la red mantenga una latencia predecible y baja, independientemente del tamaño físico del búfer configurado en el hardware.

4. Mecanismos y Algoritmos Clave

La evolución de la GAQ ha dado lugar a varios algoritmos clave, cada uno diseñado para abordar limitaciones específicas de sus predecesores. El algoritmo fundacional, **Random Early Detection (RED)**, utiliza dos umbrales (mínimo y máximo) y una probabilidad máxima de descarte (P_{max}). Si la longitud promedio de la cola se encuentra entre los umbrales, la probabilidad de descarte aumenta linealmente. La principal debilidad de RED es su sensibilidad a la configuración de estos parámetros; un ajuste incorrecto puede llevar a descartes excesivos o, por el contrario, permitir que el búfer se llene por completo.

Para mejorar la equidad y la robustez, se desarrollaron variaciones como **Weighted RED (WRED)** y algoritmos basados en el flujo. WRED aplica diferentes umbrales RED a distintos tipos de tráfico, clasificados a menudo por la prioridad de servicio (DSCP). Esto permite que el tráfico de alta prioridad (como el tráfico de control o el sensible a la latencia) tenga una probabilidad menor de descarte que el tráfico de mejor esfuerzo, introduciendo elementos de Calidad de Servicio (QoS)

dentro de la gestión de la cola. Sin embargo, la complejidad de la configuración de WRED limitó su adopción generalizada fuera de las redes empresariales grandes.

Los algoritmos modernos, desarrollados específicamente para combatir el bufferbloat, representan la tercera ola de GAQ. **CoDel (Controlled Delay)** es notable por su simplicidad y robustez. CoDel no requiere configuración de umbrales fijos; en su lugar, se centra en el tiempo de retardo. Mantiene la cola en un estado "bueno" siempre y cuando el retardo de permanencia de los paquetes se mantenga por debajo de un objetivo (target) predefinido, típicamente muy bajo. Si el retardo excede el objetivo durante un período de tiempo especificado (interval), CoDel entra en un modo de descarte hasta que el retardo se reduce, siendo un algoritmo reactivo pero autoajutable. Otro algoritmo importante es **PIE (Proportional Integral controller Enhanced)**, que utiliza la teoría de control (controladores Proporcional-Integral) para ajustar la probabilidad de descarte de manera continua, basándose tanto en la longitud de la cola como en la tasa de cambio de esa longitud, buscando una convergencia más rápida y estable hacia una latencia objetivo.

5. Impacto en la Eficiencia y Congestión de Red

El impacto de la Gestión Activa de Colas en la eficiencia operativa de las redes es profundo y multifacético. Históricamente, el principal beneficio fue la eliminación de la **sincronización global**, lo que estabilizó el rendimiento de TCP y permitió que la red operara con una utilización del enlace consistentemente alta. Al proporcionar señales de congestión de manera gradual y temprana, la GAQ asegura que los emisores TCP reduzcan su tasa de envío antes de que los búferes se desborden, evitando así la pérdida masiva de paquetes y los subsiguientes costosos retransmisiones. Esta prevención de colapsos mejora drásticamente el rendimiento agregado de la red.

En el contexto moderno, el impacto más significativo de la GAQ es su rol en la mitigación del **bufferbloat**. El bufferbloat había convertido a muchos enlaces de banda ancha de alta capacidad en enlaces de alta latencia, lo que degradaba la experiencia del usuario, especialmente para el tráfico interactivo. Al implementar algoritmos basados en el tiempo, como CoDel o PIE, las redes pueden operar a plena capacidad (alta utilización) mientras mantienen la latencia de cola en niveles mínimos, típicamente por debajo de 10 milisegundos. Esta baja latencia es vital para garantizar la calidad de servicio percibida (QoE) en aplicaciones sensibles al tiempo, como la transmisión de video en vivo, la teleconferencia y las transacciones financieras en tiempo real.

Además de la estabilidad y la latencia, la GAQ contribuye a una mayor **equidad** en el uso del ancho de banda. Los mecanismos de descarte al final (Drop Tail) tienden a favorecer a los flujos de tráfico más grandes o "voraces" (los que llenan el búfer primero), penalizando injustamente a los flujos más pequeños. Al descartar paquetes de forma probabilística o al monitorear activamente la cola, la GAQ distribuye de manera más uniforme la señal de congestión entre

todos los flujos que contribuyen a ella. Si se combina con mecanismos de programación justa (como Fair Queueing), la GAQ asegura que ningún flujo individual monopolice el recurso de red, promoviendo una distribución más justa del ancho de banda disponible entre todos los usuarios.

6. Implementaciones Notables

La Gestión Activa de Colas ha trascendido el ámbito teórico para convertirse en una característica estándar de la infraestructura de red contemporánea. Su implementación más notable se encuentra en el **kernel de Linux**, que ha adoptado y promovido activamente los algoritmos de GAQ de última generación. La pila de red de Linux, a través de su subsistema de control de tráfico (tc), ofrece implementaciones robustas de CoDel y PIE, que son activadas por defecto en muchas distribuciones modernas. Esta adopción a nivel de sistema operativo ha sido fundamental para combatir el bufferbloat en dispositivos de consumo, como enrutadores domésticos basados en Linux, garantizando una mejor experiencia de banda ancha para millones de usuarios.

A nivel de hardware, los principales fabricantes de equipos de red, incluyendo Cisco, Juniper y Huawei, integran diversas formas de GAQ, a menudo bajo la denominación de "QoS avanzado" o "prevención de congestión". En los enrutadores de clase empresarial y de borde (edge routers), la implementación de **WRED** es común, permitiendo a los administradores de red aplicar políticas de descarte diferenciadas basadas en el marcado DSCP de los paquetes, alineando la GAQ con la arquitectura general de Calidad de Servicio de la red. Los centros de datos de alta velocidad también dependen de mecanismos de GAQ para manejar la microcongestión que ocurre en ráfagas extremadamente cortas, donde la latencia es un factor crítico para el rendimiento de las aplicaciones distribuidas.

Además, la GAQ juega un papel crucial en la gestión de redes inalámbricas y móviles. En entornos donde la capacidad del enlace puede variar rápidamente (como en LTE o 5G), los mecanismos de GAQ ayudan a estabilizar el rendimiento al adaptar rápidamente la señalización de congestión a los cambios en el ancho de banda disponible. La estandarización de algoritmos como PIE por parte del [IETF \(RFC 8033\)](#) ha fomentado su adopción en una amplia gama de dispositivos y entornos, desde pequeños enrutadores SOHO hasta grandes infraestructuras de proveedores de servicios de Internet (ISP), consolidando la GAQ como una técnica indispensable para la salud y la eficiencia de Internet.

7. Debates y Limitaciones

A pesar de sus beneficios indiscutibles, la Gestión Activa de Colas ha sido objeto de debates académicos y presenta ciertas limitaciones prácticas. El debate más persistente, históricamente centrado en el algoritmo RED, gira en torno a la **sensibilidad de los parámetros**. La eficacia de RED depende crucialmente de la correcta selección de los umbrales mínimo y máximo, y de la

probabilidad máxima de descarte. La configuración óptima varía significativamente según el tipo de tráfico, el número de flujos activos y la velocidad del enlace. Esta dificultad de sintonización ha llevado a que muchos administradores opten por configuraciones subóptimas o, en algunos casos, desactiven la GAQ por completo, comprometiendo la estabilidad de la red.

Otra limitación importante es la interacción de la GAQ con el tráfico no controlado por TCP. La mayoría de los mecanismos de GAQ se basan en la premisa de que los emisores reaccionarán a las señales de congestión (descarte o ECN) reduciendo su tasa de envío, un comportamiento garantizado por el protocolo TCP. Sin embargo, el tráfico basado en **UDP (User Datagram Protocol)**, que incluye muchas aplicaciones de streaming y multimedia, no implementa inherentemente un control de congestión. Si un flujo UDP es dominante, puede ignorar las señales de descarte de la GAQ y continuar saturando la cola, lo que resulta en una penalización desproporcionada para los flujos TCP bien portados. Abordar este problema requiere la implementación de mecanismos de clasificación de tráfico y programación justa (Fair Queuing) junto con la GAQ, aumentando la complejidad del sistema.

Finalmente, existen limitaciones en el manejo de redes de muy alta velocidad (por ejemplo, enlaces de 100 Gbps o más). En estos entornos, el tiempo disponible para procesar el estado de la cola y tomar una decisión de descarte es extremadamente breve, lo que impone desafíos de rendimiento en la implementación de algoritmos complejos de GAQ en hardware de conmutación. Aunque los algoritmos modernos como CoDel y PIE son notablemente más robustos y menos dependientes de la sintonización manual que RED, la investigación continua se centra en el desarrollo de algoritmos que no solo sean robustos a las condiciones cambiantes, sino que también puedan implementarse de manera eficiente en el hardware de red de próxima generación que opera a velocidades de línea extremadamente rápidas.

8. Lecturas Adicionales

[Wikipedia: Active Queue Management](#)

[IETF RFC 2309: Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet](#)

[IETF RFC 8033: PIE: An Active Queue Management Algorithm for Increased Network Throughput and Reduced Delay](#)

[IETF RFC 8289: Controlled Delay \(CoDel\) Active Queue Management Algorithm](#)