



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**DESARROLLO DE UNA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN EL
CANAL DE ACCESO ALEATORIO 5G PARA INCREMENTAR LA CALIDAD
DE SERVICIO**

**Trabajo de Titulación para optar al título de:
Ingeniero en Telecomunicaciones**

Autor:

Castro Prieto Jorge Javier

Tutor:

Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.

Riobamba, Ecuador

2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Jorge Javier Castro Prieto, con cédula de ciudadanía 0605018159, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: “DESARROLLO DE UNA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN EL CANAL DE ACCESO ALEATORIO 5G PARA INCREMENTAR LA CALIDAD DE SERVICIO”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 17 de noviembre del 2023



Jorge Javier Castro Prieto

C.I: 0605018159

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Luis Patricio Tello Oquendo catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “DESARROLLO DE UNA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN EL CANAL DE ACCESO ALEATORIO 5G PARA INCREMENTAR LA CALIDAD DE SERVICIO”, bajo la autoría de Jorge Javier Castro Prieto; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 23 días del mes de octubre de 2023

A handwritten signature in blue ink that reads "Luis P. Tello O". The signature is written in a cursive style with a large loop for the letter 'O'.

Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.
TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “DESARROLLO DE UNA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN EL CANAL DE ACCESO ALEATORIO 5G PARA INCREMENTAR LA CALIDAD DE SERVICIO” , presentado por Jorge Javier Castro Prieto, con cédula de identidad número 0605018159, bajo la tutoría de Ing. Luis Patricio Tello Oquendo, PhD. ; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 14 días del mes de noviembre del 2023.

|

Eduardo Daniel Haro Mendoza, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Leonardo Fabian Rentería Bustamante, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Klever Hernán Torres Rodríguez, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Jorge Javier Castro Prieto** con CC: **0605018159**, estudiante de la Carrera **Ingeniería en Telecomunicaciones**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DESARROLLO DE UNA POLÍTICA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN CANAL DE ACCESO ALEATORIO 5G PARA INCREMENTAR LA CALIDAD DE SERVICIO"**, cumple con el **3%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti Plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación Institucional, por consiguiente autoriza continuar con el proceso.

Riobamba, 07 de noviembre del 2023

PhD. Luis Patricia Tello Oquendo
TUTOR

DEDICATORIA

*“Para tener éxito la actitud es tan importante como la habilidad.” :
Walter Scott.*

Este trabajo de titulación va dedicado a mi padre Dios Santo, a mi madre la Virgen Santísima , a ti mi querido abuelo Felicísimo “Pío” que me han dado la fortaleza, la sabiduría y el aliento desde el cielo para ser partícipe de este proyecto.

A mis padres, quienes han sido mi fuente de apoyo incondicional. Gracias por confiar en mí desde el inicio de este sueño, por alentarme a seguir adelante y no permitir que me rinda, gracias por brindarme las herramientas necesarias para culminar mis estudios.

A mi hermana y a mi abuela, por su cariño, comprensión y por animarme siempre en el camino. Su presencia ha sido para mí una fuente continua de aliento para superar obstáculos y seguir mis objetivos.

A mi novia, Gabriela gracias por tu compañía, por escucharme y apoyarme en los momentos de estrés y preocupación. Gracias por ser comprensiva con mis ausencias y por animarme a continuar. Tu amor ha sido fundamental para este largo y exhausto camino, gracias por enseñarme el valor de la paciencia y perseverancia, te admiro.

Gracias a todos los que de alguna manera han dejado una huella en mi vida. Cada palabra de aliento y cada acto de amabilidad han sido importantes para mí.

Mi más sincera gratitud a todos y cada uno de ustedes

Con cariño, Javier Castro P.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios Padre quien me dio la vida junto a mi familia y quien ha sido el pilar fundamental para lograr este sueño y meta de vida.

A mi abuelito Felicísimo Castro, el cual antes de partir al cielo me lleno de consejos, palabras sabias y me dio la fuerza necesaria para seguir firme en la facultad de ingeniería.

A mi abuelita Lidia Murillo, ya que me lleno de amor, tranquilidad y motivación para seguir con paso firme tanto en los días más oscuros como en los días más resplandecientes.

Dedico un agradecimiento especial a mis padres, Jorge Castro y Mónica Prieto por que han sido un apoyo fundamental para seguir con paso firme en mis estudios, gracias por entenderme y apoyarme con cada una de mis metas, gracias por el esfuerzo, dedicación e interés que han puesto a lo largo de mi carrera como estudiante.

A mi hermana, Katheryn por ser el enlace de unión familiar por dedicarme tiempo y escucharme en los días más difíciles de mi carrera por soportarme y ser un apoyo esencial en mis largas noches de desveladas.

A mi novia, Gabriela Merino por ser la persona que ha estado conmigo incondicionalmente, por su apoyo constante, por la paciencia, ayuda y entendimiento a lo largo de esta investigación, por ser ese apoyo emocional con todas las palabras de aliento que me han permitido avanzar y no decaer en el proceso, gracias por ser mi compañera de vida y por comprender lo importante que es este logro académico en mi vida.

Agradezco al PhD. Luis Tello, mi amigo, docente y tutor de tesis, por sus excelentes consejos, su apoyo inquebrantable y su paciencia durante el proceso de estudio. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mis docentes por transmitir sus conocimientos, dedicación, compromiso e interés en impartir cada una de las cátedras con sus valiosas enseñanzas que han sido fundamentales en mi formación académica y profesional.

Javier Castro P.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	2
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	3
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	4
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Planteamiento del Problema.....	17
1.3 Justificación.....	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 General.....	18
1.4.2 Específicos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
1.5 Estado del Arte.....	19
1.5.1 Tecnología celular de Quinta Generación (5G).....	19
1.5.2 Canal de acceso aleatorio.....	19
1.5.3 Procedimiento de acceso aleatorio basado en contención (4-way handshake) 20	
1.5.4 Procedimiento de acceso aleatorio en dos pasos.....	22
1.5.5 Network Slicing.....	22
1.5.6 Probabilidad de Acceso Satisfactorio.....	23
1.5.7 Uplink Grant.....	23
1.5.8 Enfoque “bolas y contenedores”.....	24

1.5.9	Caudal (throughput).....	25
1.5.10	Proyecto de Asociación de Tercera Generación.....	25
1.5.11	Principales Tipos de Tráfico en 5G	26
1.5.11.1	Comunicación tipo máquina masiva	26
1.5.11.2	Banda ancha móvil mejorada	27
1.5.11.3	Comunicaciones ultra fiables y de baja latencia	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		28
1.6	Tipo de Investigación.....	28
1.7	Diseño de Investigación.....	28
1.8	Técnica de Recolección de Datos	28
1.8.1	Observación.....	28
1.9	Población de estudio y tamaño de muestra	29
1.9.1	Población	29
1.9.2	Muestra	29
1.9.3	Operacionalización de las variables	29
1.10	Métodos de análisis y procesamiento de datos	30
1.10.1	Análisis descriptivo de la variable P_s	32
1.10.2	Mecanismo para la estimación de la carga en el canal de acceso aleatorio... 39	
1.10.3	Asignación de recursos en el proceso de acceso aleatorio	40
1.10.4	Reconocimiento del modelo de colisión.....	41
1.10.5	Probabilidad de acceso satisfactorio como métrica de análisis del desempeño de la red 41	
1.10.6	Modelo analítico del sistema	41
1.10.6.1	Probabilidad de identificar Msg1	43
1.10.6.2	Probabilidad de detección de no colisión del Msg1	44
1.10.6.3	Probabilidad de obtener la concesión de enlace ascendente Uplink Grant 44	
1.10.7	Transmisión del Preámbulo	45
1.10.8	Asignación de recursos con UL grants	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		50
1.11	Recursos físicos para el acceso al sistema	50
1.12	Rendimiento del Sistema	51
1.12.1	Probabilidad de Acceso Satisfactorio (P_s)	51

1.13	Parámetro f.....	51
1.14	Escenarios	52
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		66
1.15	Conclusiones.....	66
1.16	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS		70
	Anexo 1:.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE	29
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento de Acceso Aleatorio	20
Figura 2. Procedimiento de acceso aleatorio en dos pasos	22
Figura 3. Política de asignación de recursos.....	31
Figura 4. Diagrama de cajas de Ps con cargas y recursos similares	32
Figura 5. Descripción de los datos estadísticos de dos segmentos con medidas de tendencia central	32
Figura 6. Estimación curvilínea con un modelo lineal de dos y tres segmentos con diferentes variables	33
Figura 7. Diagrama de cajas de Ps con cargas distintas y recursos similares	34
Figura 8. Descripción de los datos estadísticos de dos segmentos con medidas de tendencia central	34
Figura 9. Diagrama de cajas de Ps de tres segmentos con distintos recursos y cargas similares.....	35
Figura 10. Descripción de los datos estadísticos de tres segmentos con medidas de tendencia central	36
Figura 11. Diagrama de cajas de Ps de tres segmentos con recursos y cargas diferentes	37
Figura 12. Descripción de los datos estadísticos de tres segmentos con medidas de tendencia central	38
Figura 13. Modelo de sistema, RAN 5G con NS.....	40
Figura 14. Segmentos y bloques de recursos.....	43
Figura 15. Acceso basado en contienda.....	46
Figura 16. Asignación de UL grants y niveles para la repartición de recursos	48
Figura 17. Tráfico de una red tradicional sin segmentos. $L=[54,54,54]$; $L0=[0,0,0]$	52
Figura 18. Carga de una red dividida en dos segmentos similares	54
Figura 19. Carga de una red dividida en dos segmentos diferentes	54
Figura 20. Carga de una red dividida en dos distintos segmentos	55
Figura 21. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 15 cargas	57
Figura 22. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas	57
Figura 23. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas	58
Figura 24. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas	58
Figura 25. Tráfico de una red dividida en tres segmentos	62
Figura 26. Tráfico de una red dividida en tres segmentos	62
Figura 27. Tráfico de una red dividida en tres segmentos	63
Figura 28. Tráfico de una red dividida en tres segmentos	63
Figura 29. Tráfico de una red dividida en tres segmentos	64

RESUMEN

En una red de acceso por radio (*RAN*) 5G donde se implementa la política de network slicing, la estimación de la carga en el canal de acceso aleatorio es fundamental para garantizar una asignación eficiente de recursos y una alta calidad de servicio para distintos tipos de tráfico, como Massive Machine Type Communications (*mMTC*), Enhanced Mobile Broadband (*eMBB*), y Ultra-Reliable Low Latency Communications (*URLLC*).

En este estudio de investigación se plantea un algoritmo destinado a calcular la carga del canal y se desarrolla una política de asignación de recursos para aplicaciones de network slicing, considerando varios segmentos con diferentes cargas de tráfico; se examina el desempeño de la red considerando la probabilidad de acceso exitoso P_S .

Las pruebas realizadas se basarán en diferentes escenarios considerando la carga del canal y comparando la red tradicional con la red de la política propuesta. Se evalúan diversos escenarios utilizando un factor f para escalar la intensidad de tráfico y observar el rendimiento de la red en diferentes condiciones.

Palabras claves: eMBB, mMTC, network slicing, preámbulos, probabilidad de acceso satisfactorio, RACH (Canal de Acceso Aleatorio), tráfico, URLLC.

ABSTRACT

In a 5G radio access network (*RAN*) where a network slicing policy is implemented, load estimation in the random-access channel is critical to ensure efficient resource allocation and high quality of service for different types of traffic, such as Massive Machine Type Communications (*mMTC*), Enhanced Mobile Broadband (*eMBB*), and Ultra-Reliable Low Latency Communications (*URLLC*). In this research study, an algorithm is proposed to calculate the channel load. Moreover, a resource allocation policy is developed for network slicing applications, considering several segments with different traffic loads; the network performance is examined by considering the probability of successful access. The tests will be based on different scenarios considering the channel load and comparing the traditional network with the proposed policy network. Different scenarios are evaluated using a factor f to scale the traffic intensity and observe the network performance under different conditions.

Keywords: eMBB, mMTC, network slicing, preambles, probability of successful access, RACH (Random Access Channel), traffic, URLLC.

Reviewed by:

Lic. Jenny Freire Rivera

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, los dispositivos móviles han adquirido un papel fundamental en la rutina diaria. Por consiguiente, la infraestructura de la red móvil que facilita su conexión requiere operar de manera eficiente. Esta infraestructura, por la cual se transmiten los servicios de telecomunicaciones hacia los usuarios, es un factor necesario en la tecnología moderna. Es por ello por lo que su desarrollo ha forzado a distintos proveedores de servicios de red a mantenerse en constante evolución en cuanto a los servicios ofertados [1].

El Internet móvil y el Internet de las cosas (IoT) representan los principales impulsores de las futuras redes móviles y abarcarán una amplia perspectiva para la red de quinta generación (5G), debido a su amplio campo de trabajo. Como consecuencia, 5G tocará muchos aspectos de la vida en el futuro, como el hogar, el trabajo, el ocio y el transporte. Los escenarios 5G incluyen áreas residenciales densas, torres de oficinas, estadios, reuniones al aire libre, metros, autopistas, ferrocarriles de alta velocidad y cobertura de área amplia. Se anticipa que la tecnología 5G cumpla con los exigentes requisitos del tráfico móvil durante la década de 2020. Estos requisitos se distinguen por velocidades de datos muy elevadas, baja latencia, gran movilidad, alta eficiencia energética y una alta densidad de tráfico [2].

Se prevé un enorme aumento en las comunicaciones totalmente automatizadas entre dispositivos; por ejemplo, automóviles conectados, salud electrónica, monitoreo ambiental. Este nuevo modelo es conocido como comunicación máquina a máquina (M2M, por sus siglas en inglés), ya que no requiere ningún tipo de intervención humana [3]. Un requisito deseable para el despliegue de dispositivos M2M es el concepto de lugar [4]; es decir, los dispositivos M2M solo deben implementarse en un área determinada para posteriormente ser operados. Por esta razón, la infraestructura de red celular es adecuada para proporcionar conectividad para las comunicaciones M2M, ya que puede proporcionar cobertura ubicua en todo el mundo [5].

Sin embargo, el despliegue de una cantidad tan grande de dispositivos en las redes celulares actuales, por ejemplo, Long Term Evolution (LTE), plantea nuevos problemas que deben abordarse. En particular, un problema importante es la sobrecarga del procedimiento de acceso aleatorio LTE bajo un número masivo de intentos de conexión simultánea, ya que el

estándar LTE ha sido diseñado para proporcionar acceso de alta velocidad a un número bastante limitado de terminales [3].

El canal de acceso aleatorio (RACH, de sus siglas en inglés) es responsable de lograr la sincronización de tiempo de enlace ascendente para un usuario que aún no ha adquirido o ha perdido su sincronización de enlace ascendente [6]. Los escenarios en los que se usa el RACH incluyen procedimientos como el acceso inicial y la solicitud de recursos de red. Cuando varios usuarios utilizan los mismos recursos de acceso (preámbulos) en una misma subtrama utilizada para el RACH, esas transmisiones colisionan y los usuarios deben retransmitir su intento de conexión, lo que a su vez causa un retardo en el acceso [7].

Al hablar de tecnología 5G se hace referencia a la capacidad, conectividad, variedad, velocidad y cobertura, donde la segmentación de red (network slicing en inglés), servirá de apoyo para cumplir con los requerimientos de cada caso [8]. El concepto de network slicing ha surgido como resultado del reciente avance en el ámbito de las tecnologías de computación y virtualización de funciones de red. Al dividir una red física en varias redes lógicas, cada una puede proporcionar servicios personalizados para un escenario de aplicación distinto. Los segmentos de red 5G representados por redes lógicamente aisladas y autónomas son lo suficientemente flexibles y altamente personalizables para acomodar diversos casos de uso impulsados simultáneamente en la misma infraestructura de red [9].

Se espera que la segmentación de la red de acceso radio (RAN, por sus siglas en inglés) sea un componente fundamental de las redes 5G de próxima generación y de IoT. Al aprovechar la virtualización de los recursos de red física, los proveedores de infraestructura asignan a los operadores de redes móviles (MNO, de sus siglas en inglés) una o más secciones de la RAN, cada una de las cuales representa una red virtual construida sobre la RAN física subyacente. Para cada segmento, la IP especifica la cantidad de recursos de red, incluidas las estaciones base (BS, de sus siglas en inglés), el espectro y la potencia de transmisión, entre otros, que pueden ser utilizados por los MNO para proporcionar servicios a los usuarios móviles [10].

Una política de asignación de recursos en el canal de acceso aleatorio es clave para la implementación y operación de network slicing. Este aspecto implica el proceso en el que la estación base busca dar solución a las demandas competitivas de distintas aplicaciones en relación a los recursos de red disponibles [11].

En este estudio se propone el desarrollo de una política dinámica de asignación de recursos que facilite la provisión de dos categorías de servicios en la Red de Área Amplia (RAN) de 5G. Cada uno de estos servicios presenta necesidades específicas en cuanto a la calidad de

servicio, medidos en términos de probabilidad de acceso satisfactorio. Con la implementación de la política de asignación de recursos se pretende incrementar esta probabilidad y disminuir las colisiones en los intentos de conexión a la red de los usuarios.

1.2 Planteamiento del Problema

La RAN de 5G tiene recursos limitados que ofrece a los usuarios la posibilidad de utilizarlos para que puedan establecer la conexión con la red y realizar la transferencia de información. Para establecer la conexión, los usuarios deben realizar un procedimiento de acceso aleatorio que consiste en un intercambio de mensajes con la estación base. Los recursos que los usuarios utilizan en este procedimiento se denominan preámbulos.

Cuando dos o más usuarios utilizan el mismo preámbulo al intentar acceder a la red se producen colisiones. Los usuarios que han colisionado deben iniciar nuevamente el procedimiento de acceso aleatorio. Esto significa que tanto el desempeño de la red como la calidad de servicio percibida por el usuario, en términos de probabilidad de acceso satisfactorio, disminuirán. Este problema puede empeorar cuando la red no opere con network slicing ya que no proporciona cabida a varios servicios con requerimientos de calidad de servicios divergentes.

1.3 Justificación

Bajo el paradigma de *network slicing*, el cumplimiento de la calidad de servicio es primordial para las diferentes aplicaciones que utilizan la red de comunicaciones. El desarrollo de una política de asignación de recursos es de gran importancia puesto que en su mayoría los recursos disponibles en la red son limitados y en condiciones de alta carga de tráfico, la comunicación se deteriora. En esta investigación nos centraremos en un escenario en el cual la estación base 5G provee tres tipos de servicio con tráfico de comunicaciones celulares convencionales de fondo donde el espacio del trabajo se creará entorno a los dispositivos *IoT*.

Los estándares de ancho de banda, latencia y fiabilidad deben ser diferentes para *eMBB*, *mMTC* y *URLLC*. Con la tecnología de segmentación de la red, pueden establecerse secciones separadas para distintos tipos de tráfico, de modo que los recursos puedan distribuirse de la forma más eficiente posible.

La heterogeneidad del tráfico plantea un problema para la asignación tradicional de recursos de red. Desarrollando esta estrategia, podemos asegurarnos de que los recursos se utilizan eficazmente y de que no se desperdicia ninguno debido a fluctuaciones en el volumen de tráfico.

Aplicaciones como la telemedicina y la automatización industrial dependen en gran medida de los servicios *URLLC* por su necesidad de baja latencia y alta fiabilidad. Al aislar estos servicios del resto del tráfico de la red, *network slicing* permite prestarles la atención y el ancho de banda que necesitan para funcionar correctamente.

Con *network slicing (NS)*, los recursos actuales pueden utilizarse de una manera más eficaz. La compartición inteligente de recursos en la red permite una mayor utilización de los activos y una reducción de costos con recursos separados para distintos tipos de tráfico.

La segmentación de la red ayuda a mejorar la experiencia del usuario de forma directa al optimizar la asignación de recursos y ofrecer mejores servicios a los distintos tipos de tráfico. Sea cual sea el servicio al que se suscriba un usuario, se beneficiará de velocidades de descarga más rápidas, aplicaciones más estables y latencia reducida.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Desarrollar una política de asignación de recursos basada en la estimación de carga del canal de acceso aleatorio 5G para incrementar la calidad de servicio.

1.4.2 Específicos

- Diseñar un mecanismo para estimar la carga en el canal de acceso aleatorio de la RAN 5G.
- Proponer una política de asignación de recursos dinámica, utilizando un mecanismo de estimación de la carga del canal de acceso aleatorio diseñado.
- Determinar la probabilidad de acceso satisfactorio como métrica de análisis en función de la topología de red.
- Evaluar la política de asignación de recursos en escenarios con diversas cargas de tráfico y determinar su impacto en el rendimiento de la red en términos de la probabilidad de acceso satisfactorio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

1.5 Estado del Arte

1.5.1 Tecnología celular de Quinta Generación (5G)

La tecnología 5G representa la próxima fase de comunicación móvil, diseñada para ofrecer mayor capacidad y velocidades de datos superiores a su predecesora, Long Term Evolution (LTE). Se destaca por su promesa de latencia extremadamente baja y una confiabilidad excepcional, lo que habilita la introducción de servicios innovadores en diversos sectores industriales [12].

Esta consiste en hacer uso de teléfonos móviles dentro de un ancho de banda muy alto. Incluyen todo tipo de características avanzadas que hacen que la red de quinta generación sea la tecnología más dominante en un futuro cercano [13].

Los estándares 5G están actualmente en desarrollo e incluirán la evolución de las tecnologías LTE y 5G New Radio (NR) existentes. Se han reconocido diversos servicios de aplicaciones 5G en conformidad con las directrices establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [12].

1.5.2 Canal de acceso aleatorio

Los canales de acceso aleatorio RACH son canales compartidos utilizados en los sistemas de comunicación inalámbrica para permitir que los dispositivos móviles configuren las llamadas. RACH también maneja la transmisión de datos en ráfaga. RACH es popularmente utilizado por los móviles GSM para la transmisión a través de redes celulares[14].

Un modelo analítico estima la probabilidad de éxito de acceso y el retraso promedio de entrada de los canales de acceso aleatorio considerando el número máximo de transmisiones del preámbulo[15].

Pero también es factible que numerosos UE seleccionen el mismo preámbulo, en cuyo caso el gNodeB lo reconocería con precisión.

Mensaje 2: En la respuesta de acceso aleatorio el gNodeB transmite una respuesta RA en el canal descendente físico compartido (PDSCH) para cada solicitud descodificada correctamente. Esta respuesta contiene recursos en el canal de enlace ascendente (recursos PUSCH) asignados a los UE para el tercer paso del procedimiento RA, así como un comando de alineación de temporización (TA) para ajustar la temporización de transmisión del terminal.

Además, este mensaje incluye un indicador de retroceso opcional (BCK), que se utiliza con el fin de disminuir la posibilidad de que los dispositivos de usuario que colisionaron en el intervalo RA anterior vuelvan a colisionar en los siguientes intentos.

De hecho, los equipos de usuario esperan un retardo aleatorio antes de reanudar el procedimiento RACH en la siguiente ranura RA disponible si el mensaje 1 no es reconocido por el mensaje 2 en un intervalo de tiempo determinado.

Mensaje 3: Mediante la solicitud de conexión los UE emitirán un mensaje de control de recursos radioeléctricos (RRC) sobre los recursos reservados en el PUSCH tras recibir la respuesta de acceso aleatorio. Cabe señalar que los UE implicados en una colisión de preámbulo inadvertida transmitirán a través de los mismos bloques de recursos PUSCH, lo que dará lugar a una nueva colisión.

Mensaje 4: Por medio de la resolución de la conexión, si el gNodeB reconoce con éxito la solicitud de conexión del UE, responde con un mensaje de resolución de congestión en el PDSCH, haciéndose eco de la identificación del terminal móvil (mobile ID), para confirmar que la solicitud del UE se ha recibido correctamente.

Por el contrario, los UE que no reciben un mensaje de resolución de congestión del gNodeB creen que sus solicitudes de acceso no han tenido éxito y, tras esperar un periodo de backoff de oportunidad, realizan otro intento de transmisión del preámbulo durante la ranura RA siguiente. Una vez más, la red es declarada no disponible por el UE cuando el número de intentos fallidos alcanza un valor predeterminado y se eleva una excepción de problema de acceso a las capas superiores.

1.5.4 Procedimiento de acceso aleatorio en dos pasos

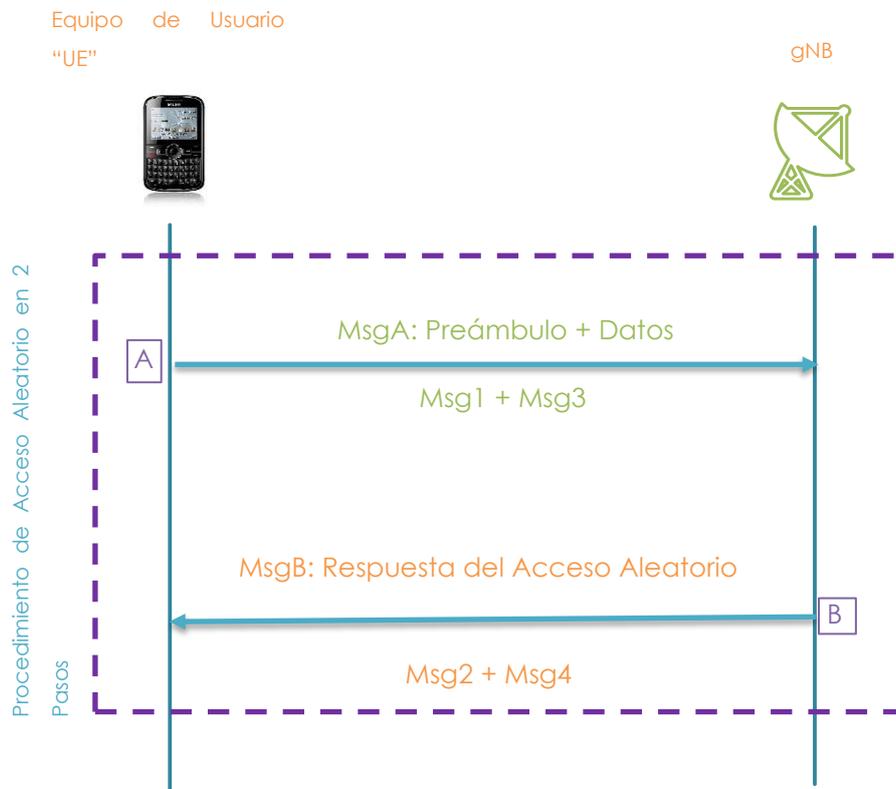


Figura 2. Procedimiento de acceso aleatorio en dos pasos

Elaborado por: Javier Castro

La RACH en dos pasos utiliza un único ciclo de ida y vuelta la transmisión de datos entre el equipo de usuario y la estación base para reducir la latencia y la sobrecarga de la señal de control. Para ello, el equipo de usuario combina la emisión programada de PUSCH (Msg3) y el preámbulo (Msg1) en un único mensaje (MsgA). En segundo lugar, combinando el mensaje de resolución de la contención (Msg4) y la respuesta de acceso aleatorio (Msg2) en un único mensaje (MsgB) del gNB al UE.

1.5.5 Network Slicing

La segmentación de red superpone varias redes virtuales sobre un dominio de red compartido, es decir, un conjunto de recursos informáticos y de red compartidos. La segmentación de red se utiliza con mayor frecuencia en la discusión de redes 5G, en parte porque la especificación 5G exige la segmentación de red como una capacidad fundamental,

mientras que 4G y las generaciones anteriores de servicios de datos celulares no admitían ni podían admitir la segmentación de red [16].

Se caracteriza por ser una pieza fundamental para la flexibilidad de la red 5G. Este segmento se destaca por la creación de varias redes lógicas dentro de una misma infraestructura para admitir varios servicios con diferentes requisitos, permitiendo reducir los costos del despliegue de una red y a su vez el número de operaciones dentro de la misma [17].

Es considerada una cualidad crucial del sistema celular 5G. Al dividir la infraestructura de red en múltiples segmentos lógicos, la segmentación de red puede admitir servicios paralelos con diferentes requisitos. Si bien los desarrollos tecnológicos se centran en la segmentación de las redes centrales, hay estudios limitados en la segmentación de redes para redes de acceso radio [18].

Cada servicio 5G puede tener diferentes necesidades en lo que respecta a la latencia, el ancho de banda y la confiabilidad, que no pueden ser sostenidas por la misma infraestructura de red física. En este contexto, la virtualización de redes representa una forma viable de proporcionar un segmento de red adaptado a cada servicio [19].

Sin embargo, se sabe que el mecanismo actual para solicitar acceso al sistema sufre de congestión y sobrecarga en presencia de una gran cantidad de dispositivos. Por esta razón, equipos de investigación en diferentes partes del mundo están dedicados a desarrollar métodos más eficaces para administrar el acceso a estas redes en situaciones similares [20].

1.5.6 Probabilidad de Acceso Satisfactorio

La variable que representa la probabilidad de acceso satisfactorio es P_s . Esta se define como la posibilidad de llevar a cabo exitosamente el proceso de acceso aleatorio en el máximo número de transmisiones de preámbulo permitidas. Para analizar estas métricas de rendimiento, el modelo analítico debe considerar el efecto de las restricciones de implementación de LTE, como el procedimiento de retroceso aleatorio de LTE y la probabilidad de detección variable en el tiempo resultante del efecto de rampa de potencia[21].

1.5.7 Uplink Grant

En una red móvil, una concesión de enlace ascendente implica la asignación de recursos específicos para la transmisión en esa dirección a un dispositivo móvil por parte de la

estación base para que el dispositivo pueda enviar datos al nodo de red. Las estaciones base controlan cómo los dispositivos móviles acceden y utilizan las ondas radioeléctricas en redes móviles como las redes LTE (Long Term Evolution) y 5G.

Un dispositivo móvil tiene que solicitar un recurso de enlace ascendente a la estación base para enviar datos al nodo de red. Mediante un proceso de programación y gestión de recursos, la estación base da permiso al dispositivo móvil para enviar datos por el aire durante un tiempo determinado y a una frecuencia limitada. La potencia de transmisión y otras características pueden especificarse en la autorización del enlace ascendente.

Las asignaciones de enlaces ascendentes se establecen para evitar interferencias y atascos en las horas punta. Al gestionar individualmente el acceso y la transmisión de datos de cada dispositivo móvil, se puede maximizar la capacidad y la calidad de servicio de la red móvil.

1.5.8 Enfoque “bolas y contenedores”

Un modelo de asignación de recursos en una red móvil puede describirse utilizando la noción de “bolas y contenedores” del análisis de algoritmos y la teoría de probabilidades. Las “bolas” simbolizan los dispositivos móviles, mientras que los “contenedores” representan el espacio de almacenamiento.

En esta metáfora, las “bolas” son los dispositivos móviles que compiten por unos recursos de red escasos, como la velocidad de transmisión de información, las frecuencias de radio y los canales de comunicación. Sin embargo, los “contenedores” se refieren a los recursos de la red, que pueden ser pocos y, por tanto, deben compartirse entre varios dispositivos móviles.

Este enfoque resuelve el problema de cómo distribuir equitativamente la capacidad y el rendimiento de la red entre los dispositivos móviles. Para mantener la eficiencia y evitar el hacinamiento, en este concepto los aparatos móviles (bolas) deben colocarse estratégicamente encima de los contenedores (recursos).

Los algoritmos basados en el equilibrio de la carga y la asignación proporcional son dos ejemplos de métodos que se han desarrollado para abordar esta cuestión. Distribuir los recursos de forma equitativa y eficaz entre los dispositivos móviles es el objetivo de estos algoritmos.

1.5.9 Caudal (throughput)

En el contexto de las redes de comunicación, el término "caudal" se refiere a la cantidad de datos que pueden ser transmitidos de manera efectiva a través de un sistema o red en un período de tiempo específico. Representa la velocidad a la que los datos pueden ser enviados a través de la red. Las unidades de medida comunes para el caudal son los bits por segundo (bps), o sus múltiplos como kilobits por segundo (Kbps), megabits por segundo (Mbps) o gigabits por segundo (Gbps). Estas mediciones son utilizadas para evaluar el rendimiento de la red. A medida que el rendimiento aumenta, la transmisión de datos a través de la red se vuelve más rápida y eficiente. Diversas variables influyen en el rendimiento, como:

El ancho de banda se refiere a la capacidad máxima de una red para transmitir datos en un lapso específico. A medida que el ancho de banda de una red aumenta, su capacidad para transferir datos también se incrementa.

Por "latencia" entendemos el tiempo que tarda la información en atravesar una red. El rendimiento puede mejorarse reduciendo el retardo en la transferencia de datos.

El rendimiento puede verse afectado significativamente por interferencias, como interferencias electromagnéticas u otros dispositivos en la red, que pueden causar errores en la transmisión de datos y reducir la calidad de la señal, además puede verse afectado por los protocolos de red y los algoritmos de transmisión utilizados. Los distintos protocolos persiguen objetivos de rendimiento diferentes: algunos se centran en el rendimiento y otros en otros factores, como la fiabilidad o la tolerancia a fallos.

Hay que tener en cuenta que la sobrecarga del protocolo, la congestión de la red, las limitaciones de los dispositivos finales y otras variables pueden reducir el rendimiento real experimentado en una red con respecto al rendimiento potencial.

Dado que el concepto de rendimiento es esencial en el diseño y la optimización de redes de comunicaciones, porque provee una métrica para evaluar el desempeño de una red y su capacidad para transmitir datos en un intervalo de tiempo específico.

1.5.10 Proyecto de Asociación de Tercera Generación

Las normas relacionadas con las tecnologías para comunicaciones móviles las desarrolla y especifica el *3GPP* (Third Generation Partnership Project), un consorcio de organizaciones de normalización de las telecomunicaciones. Desde su creación en 1998, cuando se

introdujeron por primera vez las redes móviles 3G, hasta la llegada de las redes 4G LTE y 5G en la actualidad, ha tenido una influencia crucial en el progreso de las redes móviles.

Las especificaciones que abarcan las topologías de red, interfaces, protocolos de comunicación y características de servicio forman parte del objetivo central del 3GPP de establecer y mantener normas técnicas para las tecnologías de comunicación móvil. Estas normas facilitan la adopción y el crecimiento de las redes móviles, ya que permiten la interoperabilidad entre distintos fabricantes y operadores.

Es crucial que el 3GPP, organismo primordial en el sector de las telecomunicaciones móviles, continúe su labor en la definición y desarrollo de estándares para las tecnologías venideras.

1.5.11 Principales Tipos de Tráfico en 5G

1.5.11.1 Comunicación tipo máquina masiva

Este tráfico es la transferencia colectiva de datos de los aparatos del Internet de las Cosas (IoT), que necesita una conexión rápida y de bajo consumo. Los sensores inteligentes, los contadores inteligentes, la vigilancia del medio ambiente y las ciudades inteligentes son ejemplos de ello. Los objetivos principales de Massive Machine Type Communications (*mMTC*, de sus siglas en inglés) son optimizar el uso de la energía y la eficiencia del espectro al tiempo que se permite un elevado número de dispositivos IoT interconectados. Sus principales aplicaciones son:

Los sensores inteligentes para la vigilancia del medio ambiente, los contadores inteligentes de energía y agua, además del seguimiento de activos.

Las ciudades inteligentes incluyen elementos como sistemas de control del tráfico, farolas LED y recogida de basuras mediante sensores.

Algunas aplicaciones de la “agricultura inteligente” incluyen el riego automático controlado por sensores y el seguimiento tanto de los cultivos como del ganado.

Algunos ejemplos de “edificios inteligentes” son los que tienen controles automatizados de temperatura e iluminación, así como sistemas de seguridad y vigilancia.

Entre los ejemplos de redes de sensores utilizadas en la industria figuran las empleadas para la supervisión de maquinaria y equipos, la mejora de los procedimientos de producción y la ejecución de labores de mantenimiento preventivo.

1.5.11.2 Banda ancha móvil mejorada

Ejemplos de tráfico que pertenecen a esta categoría incluyen el streaming de video en alta definición (HD), los juegos en línea, la realidad virtual (VR) y la descarga de archivos voluminosos. Enhanced Mobile Broadband (eMBB, por sus siglas en inglés) se destaca por priorizar la velocidad y el ancho de banda, lo que facilita conexiones de alta velocidad con baja latencia. Sus aplicaciones principales comprenden:

Plataformas de streaming de video en línea como Netflix, YouTube y Amazon Prime Video proporcionan contenido en alta definición y resolución 4K.

Juegos como Fortnite, PlayerUnknown's Battlegrounds y Call of Duty: Mobile son ejemplos de juegos multijugador en línea populares.

Algunos ejemplos de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) abarcan aplicaciones y juegos minoristas de RA, así como software de RV completamente inmersivo.

La descarga veloz de archivos de gran tamaño incluye actualizaciones críticas de software y la obtención de películas y episodios de televisión.

Streaming de audio y música de la máxima calidad: Servicios como Spotify, Apple Music y Tidal, que permiten a los usuarios transmitir música en línea, sirven de ejemplo.

1.5.11.3 Comunicaciones ultra fiables y de baja latencia

Los sistemas de control industrial, vehículos autónomos, telecirugía y otras aplicaciones críticas para la seguridad son ejemplos de tráfico con requisitos extremadamente rigurosos de fiabilidad y baja latencia. En este caso, Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC, de sus siglas en inglés), da prioridad a las comunicaciones fiables y de baja latencia en situaciones en las que la velocidad de reacción es crucial. Sus principales aplicaciones son:

La automatización en la fabricación, los robots en la industria y los sistemas de control para procesos industriales son ejemplos de control industrial en tiempo real. Las tecnologías de asistencia al conductor, como los automóviles autónomos, las ayudas automáticas para aparcar y los sistemas de frenado de emergencia, son cada vez más comunes.

Los sistemas de vigilancia y seguridad, los servicios de emergencia y la respuesta rápida son ejemplos de aplicaciones en las que la seguridad es primordial. Comunicaciones críticas, como las que utilizan las fuerzas militares y los cuerpos de seguridad.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

1.6 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación busca recolectar datos por medio de un modelo de simulación y realizar un análisis interpretativo de una política de asignación de recursos en el canal de acceso aleatorio 5G para mejorar la calidad de servicio. Para ello se empleará el software MATLAB, que servirá como herramienta para diseñar el modelo de simulación del sistema por eventos discretos y posteriormente examinar la calidad del servicio de la red considerando la probabilidad de acceso exitoso.

Este estudio se apoyará en una investigación de tipo exploratorio, la cual estará respaldada por un modelo de simulación del canal de acceso aleatorio de 5G implementado con network slicing. Se analizarán los parámetros de configuración necesarios y las métricas de rendimiento que permitan comprobar el incremento de la probabilidad de acceso satisfactorio para incrementar la calidad del servicio para los usuarios. Con esto se pretende identificar la configuración adecuada de los parámetros de la RAN por medio de network slicing que garanticen la disponibilidad de los servicios dentro de la red.

1.7 Diseño de Investigación

A través de un enfoque cuantitativo, esta investigación radica en desarrollar un modelo de simulación mediante la cual se aplicarán ecuaciones que modelan procesos, variables y sus interrelaciones en fenómenos reales, proporcionan de esta manera una guía aproximada de su comportamiento sometido a diversas diligencias de variables. Se concretará dentro de un modelo de simulación la percepción del fenómeno real de network slicing del canal de acceso aleatorio 5G y se examinará la consecuencia de diferentes alternativas.

1.8 Técnica de Recolección de Datos

1.8.1 Observación

El trabajo tiene como base metodológica la observación, puesto que dicha técnica permite obtener sucesos o circunstancias del proceso estudiado, seguida de la recopilación y

evaluación sistemáticas de datos. El objetivo de dicho método es recopilar datos esenciales sobre los factores o parámetros de examen.

1.9 Población de estudio y tamaño de muestra

1.9.1 Población

Debido a que se realizará un modelo de simulación de la red para poder obtener una población, se ingresará al sistema un cierto número de usuarios, mismos que van a hacer uso del canal de acceso aleatorio.

1.9.2 Muestra

Estará descrita como “aleatoria”, debido a que la muestra se obtendrá mediante el total de usuarios que han accedido satisfactoriamente al canal de acceso aleatorio dentro de la red.

1.9.3 Operacionalización de las variables

TABLA I. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Independiente: Carga del sistema	Peticiones que generan los dispositivos para acceder a la red.	Intensidad de tráfico “a”	La observación se realiza de manera directa utilizando un modelo de simulación de red que comprende múltiples clústeres de red, cada uno de los cuales maneja un conjunto de flujos de tráfico. Esta simulación se lleva a cabo utilizando Matlab.
Dependiente: Rendimiento del sistema	Se define como la cantidad de dispositivos que han logrado acceder exitosamente a la red dentro de un cierto periodo y número específico de intentos de transmisión.	- Probabilidad de acceso satisfactorio (Ps)	

1.10 Métodos de análisis y procesamiento de datos

Dentro de la política de asignación de recursos, se considera una red de acceso radio con S segmentos de red. Se estudiará el problema de asignación de recursos a nivel de celda y se analizará la distribución de recursos de enlace ascendente empleados en el proceso de acceso aleatorio. Los UE están totalmente informados del segmento al que pertenecen. La estación base transmite información del sistema sobre el proceso de acceso y la configuración de segmentos. La política de asignación determinará cómo se distribuyen los recursos de radio a los usuarios de cada segmento.

Durante la formulación de la estrategia de asignación de recursos en el canal de acceso aleatorio que emplea la tecnología 5G se tienen en cuenta los preámbulos, las cargas de tráfico y la fragmentación a través del nodo de red de acceso centralizado (gNB).

Los preámbulos son señales de control que los dispositivos que envían solicitudes de acceso a la red envían antes de enviar ningún dato. El nodo gNB escucha estos preámbulos y los utiliza para determinar con qué dispositivos debe empezar a comunicarse.

La cantidad y variedad de información que los dispositivos quieren enviar a través de un canal de acceso aleatorio se denominan “cargas de tráfico”. El hecho de que el tráfico sea eMBB, URLLC o mMTC puede afectar al ancho de banda, la velocidad de transmisión y las necesidades de calidad de servicio (QoS) de cada dispositivo. La capacidad del canal de acceso aleatorio y los recursos de que dispone se ven afectados por el volumen de tráfico previsto.

El segmento describe cómo puede dividirse la red 5G en partes más pequeñas y manejables para usos específicos. Cada “segmento” se adapta a los requisitos individuales del hardware y el software que lo acompañan. eMBB, URLLC y mMTC tienen su propio “segmento”.

El nodo gNB es una parte crucial de la asignación de recursos del canal de acceso aleatorio. En función del volumen de tráfico y de las reglas establecidas para cada segmento, el nodo gNB gestionará y coordinará la distribución de preámbulos y recursos. El gNB identifica las tramas de difusión en el preámbulo y elige los dispositivos para asignar el ancho de banda, las subportadoras y los tiempos de transmisión.

A medida que los patrones de tráfico y las prioridades cambian entre los segmentos, también lo hace el método por el que se asignan los recursos. El objetivo es optimizar la capacidad de la red y ofrecer una experiencia de usuario positiva garantizando una distribución equitativa de los recursos disponibles entre todos los tipos de tráfico.

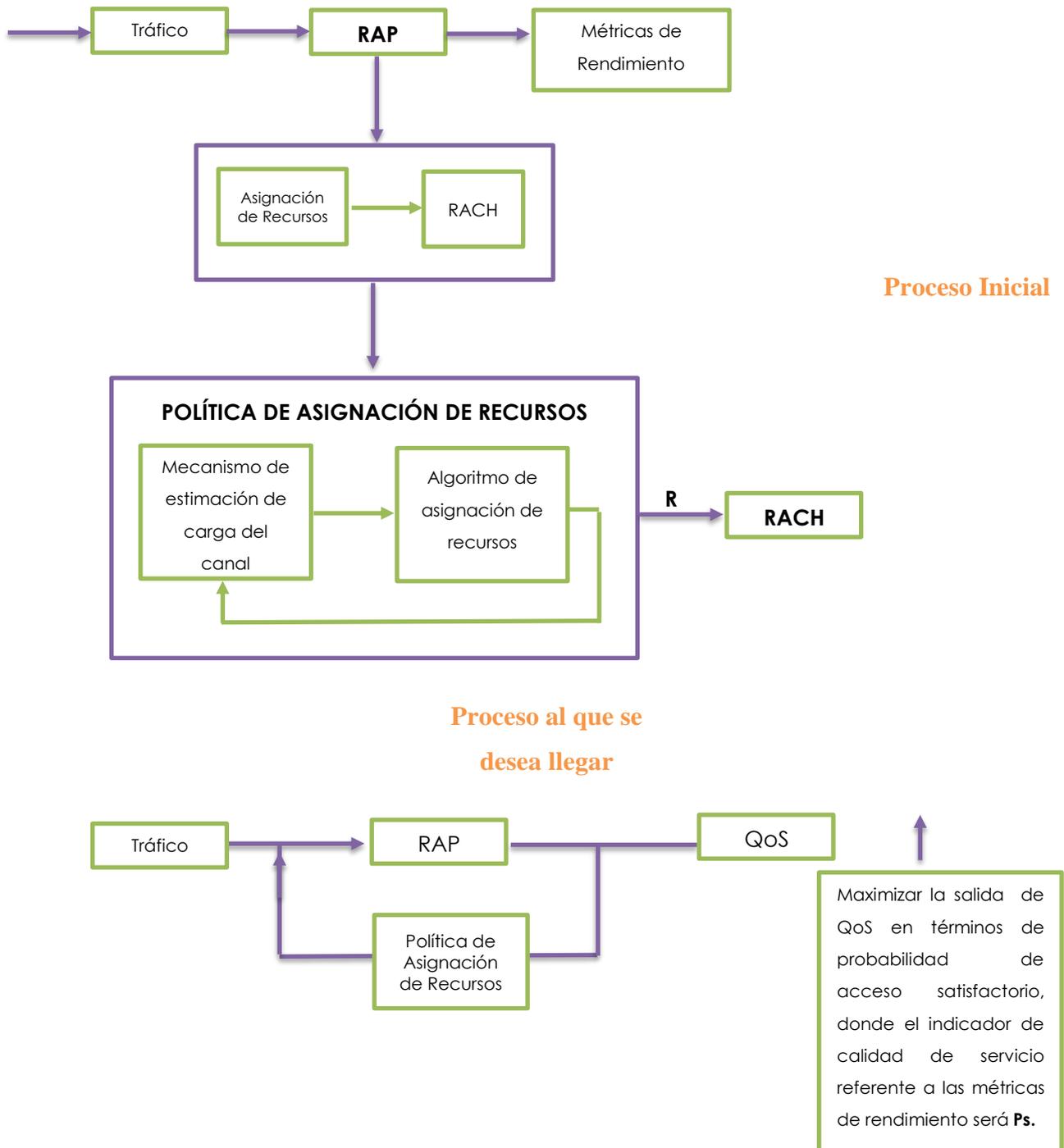


Figura 3. Política de asignación de recursos

Elaborado por: Javier Castro

Por lo que se desarrollará un modelo de simulación del RACH 5G con NS. El modelo implementa algoritmos de comunicación y permite la flexibilidad en la elección de los parámetros de interés de la red, incluyendo tipo de tráfico, número de dispositivos, tiempos de procesamiento y parámetros del canal como número de preámbulos disponibles y número de segmentos de red.

1.10.1 Análisis descriptivo de la variable P_s

Análisis de la variable de la probabilidad de acceso satisfactorio dividida en dos y tres segmentos con distintas cargas de tráfico.

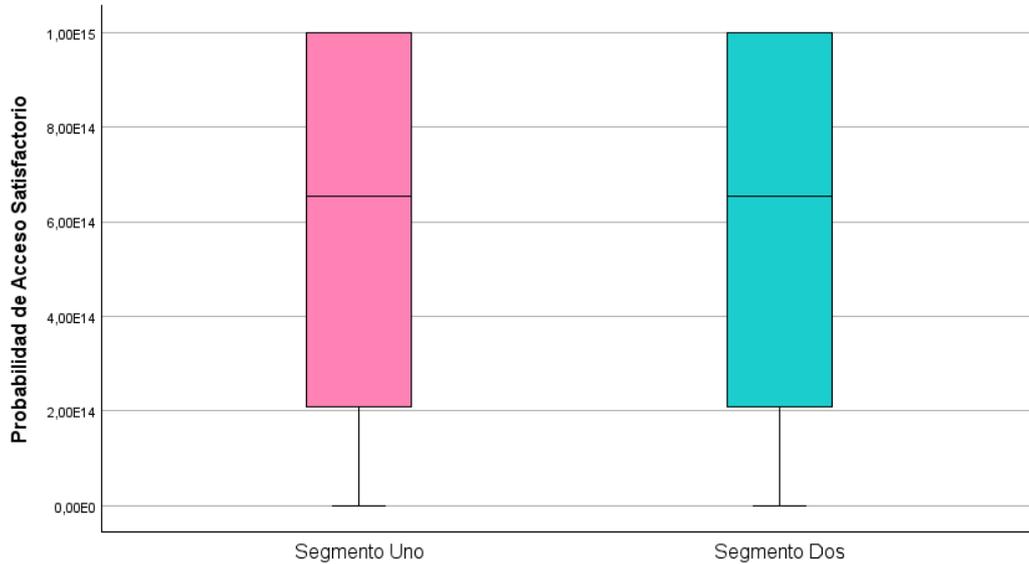


Tabla de Segmentos

Figura 4. Diagrama de cajas de P_s con cargas y recursos similares

El comportamiento de la variable en el diagrama de cajas tanto para el segmento uno como para el segmento dos es similar, esto quiere decir que la dispersión de los datos son iguales como se puede visualizar en la figura 18, esta similitud se debe a que dentro de la carga de tráfico y del número de recursos o preámbulos no existe variación.

		Descriptivos		Estadístico	Error estándar
		Tabla de Segmentos			
Probabilidad de Acceso Satisfactorio	Segmento Uno	Media		6,0197E+14	6,48953E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,7009E+14	
			Límite superior	7,3385E+14	
		Media recortada al 5%		6,1092E+14	
		Mediana		6,5401E+14	
		Varianza		1,474E+29	
		Desv. estándar		3,83926E+14	
		Mínimo		1,00	
		Máximo		1,00E+15	
	Rango		1,00E+15		
	Segmento Dos	Media		6,0197E+14	6,48953E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,7009E+14	
			Límite superior	7,3385E+14	
		Media recortada al 5%		6,1092E+14	
		Mediana		6,5401E+14	
		Varianza		1,474E+29	
		Desv. estándar		3,83926E+14	
		Mínimo		1,00	
		Máximo		1,00E+15	
Rango			1,00E+15		

Figura 5. Descripción de los datos estadísticos de dos segmentos con medidas de tendencia central

Los valores de las medidas de tendencia central son idénticos en ambos segmentos, dado que los datos proporcionados son similares en la variable (y), la cual determina la probabilidad de acceso satisfactorio. Esto se debe a que tanto la carga de tráfico como los preámbulos son equivalentes. Además, se puede observar que existe una desviación estándar de $3,83 \times 10^{14}$ la cual se puede interpretar en que no existe diferencia para acceder satisfactoriamente a la red entre un segmento y otro.

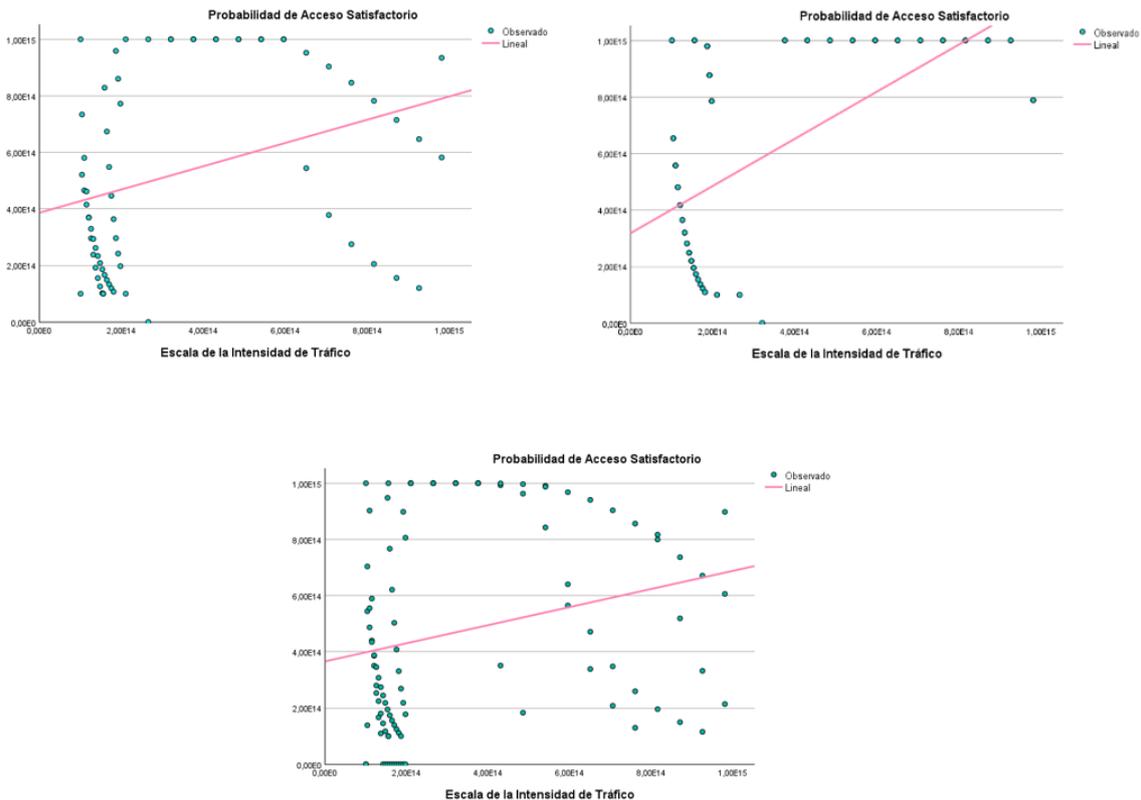


Figura 6. Estimación curvilínea con un modelo lineal de dos y tres segmentos con diferentes variables

Dentro de la figura 6, la interpretación de la variable con escala de la intensidad de tráfico respecto a la variable con la probabilidad de acceso satisfactorio muestra que para cargas con tráfico congestionado menor será la probabilidad de acceso satisfactorio dentro del canal de acceso aleatorio mientras que por otro lado para cargas con tráfico ligero mayor será la posibilidad de lograr un acceso satisfactorio en la red. Llegando a una conclusión general que la probabilidad de acceso satisfactorio aumenta o disminuye según el tráfico por esta razón se observan puntos dispersos y aglomerados, que se interpretan como las comunicaciones que han accedido satisfactoriamente dentro de la red. Este comportamiento se puede visualizar mediante las figuras 18, 19 y 22, respectivamente.

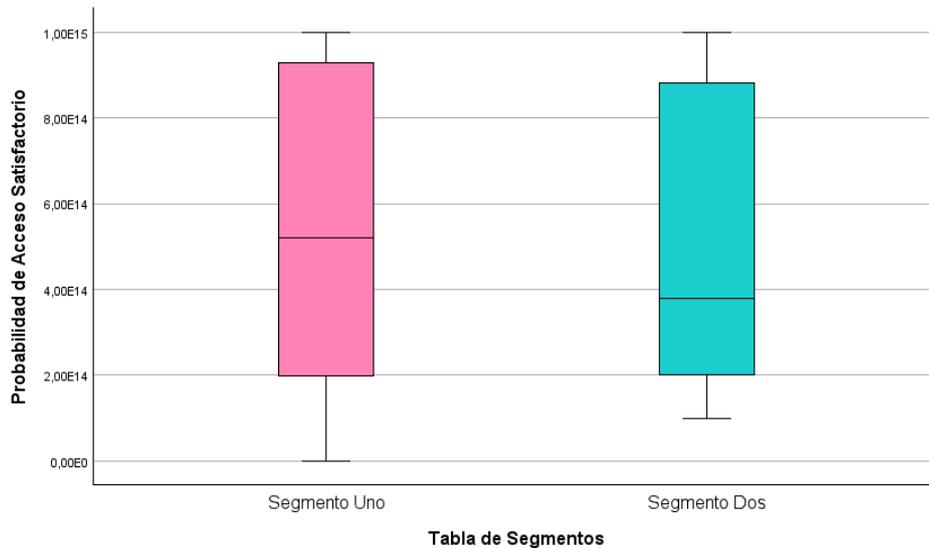


Figura 7. Diagrama de cajas de P_S con cargas distintas y recursos similares

El comportamiento de la variable en el diagrama de cajas es diferente para el segmento uno como para el segmento dos , esto quiere decir que la dispersión de los datos varía entre sí, tal como se puede visualizar en la figura 19, esta mínima diferencia se debe a que los valores que fueron proporcionados dentro de la carga de tráfico son distintos mientras que para los recursos o preámbulos los valores serán los mismos .

Descriptivos				
Probabilidad de Acceso Satisfactorio	Tabla de Segmentos		Estadístico	Error estándar
	Segmento Uno	Media		5,4797E+14
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	4,2480E+14	
		Límite superior	6,7115E+14	
Media recortada al 5%			5,5092E+14	
Mediana			5,2111E+14	
Varianza			1,286E+29	
Desv. estándar			3,58585E+14	
Mínimo			1,00	
Máximo			1,00E+15	
Rango			1,00E+15	
Segmento Dos	Media		5,0471E+14	5,78911E+13
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,8706E+14	
		Límite superior	6,2236E+14	
	Media recortada al 5%		4,9968E+14	
	Mediana		3,7837E+14	
	Varianza		1,173E+29	
	Desv. estándar		3,42488E+14	
	Mínimo		1,00E+14	
	Máximo		1,00E+15	
	Rango		9,00E+14	

Figura 8. Descripción de los datos estadísticos de dos segmentos con medidas de tendencia central

En esta figura los valores que describen las medidas de tendencia central varían en ambos segmentos debido a que los datos proporcionados en la variable (y), donde se determina la probabilidad de acceso satisfactorio son distintos, esto se debe a la carga de tráfico, puesto que existe una variación entre una carga y otra, mientras que los preámbulos son equivalentes entre ellos. Además se puede observar que en el primer segmento existe una desviación estándar de $3,58 \times 10^{14}$ a diferencia del segundo segmento donde la desviación estándar es igual a $3,42 \times 10^{14}$, donde se puede interpretar en que la diferencia para acceder satisfactoriamente a la red entre un segmento y otro es de una décima y seis centésimas.

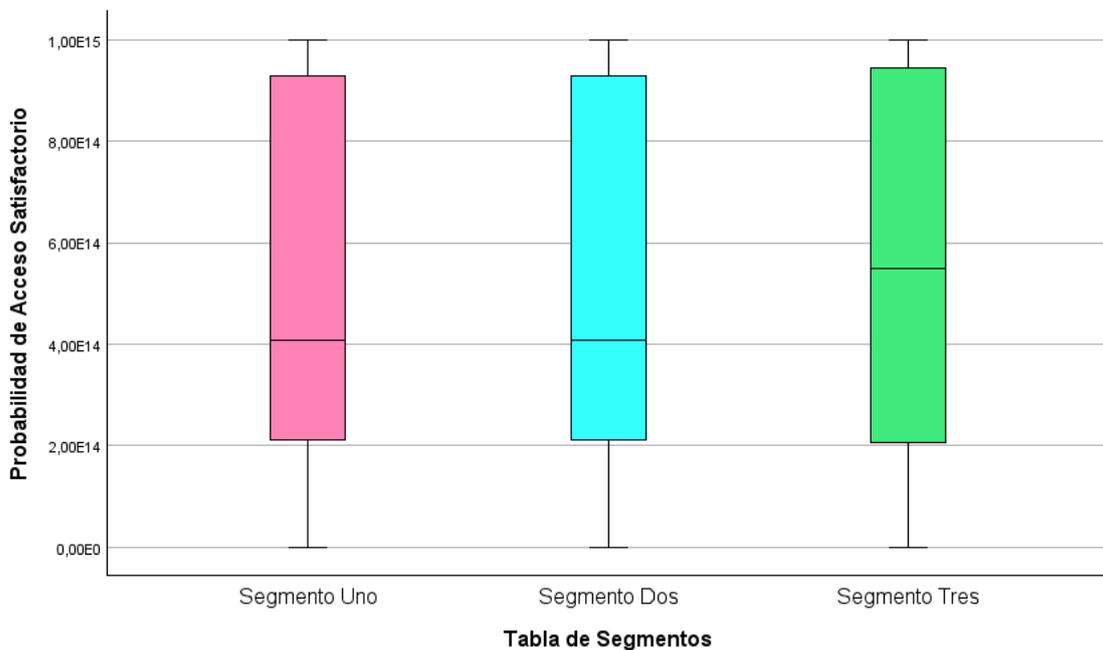


Figura 9. Diagrama de cajas de P_s de tres segmentos con distintos recursos y cargas similares

El comportamiento de la variable en el diagrama de cajas es similar tanto para el segmento uno como para el segmento dos, mientras que la probabilidad de acceso satisfactorio para el segmento 3 es diferente, esto quiere decir que la dispersión de los datos de los dos primeros segmentos son similares a diferencia del segmento 3, donde este varía con respecto a los dos primeros segmentos, tal como se puede visualizar en la figura 21, esta diferencia dentro del diagrama de cajas se debe a que los números proporcionados en la base de datos con respecto a las cargas del tráfico son similares pero dentro de los preámbulos los dos primeros se mantienen al contrario del último donde este es diferente al resto de los recursos, es por esto que en la figura 9, el último segmento varía con respecto a los dos primeros segmentos dando una interpretación acertada con respecto a la teoría, donde se indica que las colisiones

serán más bajas con respecto al segmento uno y dos debido a que los preámbulos asignados son más altos, por tal motivo el segmento tres tiene una probabilidad más alta de acceso satisfactorio dentro del canal de acceso aleatorio.

				Descriptivos	
Tabla de Segmentos				Estadístico	Error estándar
Probabilidad de Acceso Satisfactorio	Segmento Uno	Media		5,0907E+14	5,95391E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,8807E+14	
			Límite superior	6,3007E+14	
		Media recortada al 5%		5,1008E+14	
		Mediana		4,0840E+14	
		Varianza		1,241E+29	
		Desv. estándar		3,52238E+14	
		Mínimo		1,00	
		Máximo		1,00E+15	
	Rango		1,00E+15		
	Segmento Dos	Media		5,0907E+14	5,95391E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,8807E+14	
			Límite superior	6,3007E+14	
		Media recortada al 5%		5,1008E+14	
		Mediana		4,0840E+14	
		Varianza		1,241E+29	
		Desv. estándar		3,52238E+14	
		Mínimo		1,00	
		Máximo		1,00E+15	
	Rango		1,00E+15		
	Segmento Tres	Media		5,6240E+14	6,10814E+13
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	4,3826E+14		
		Límite superior	6,8653E+14		
Media recortada al 5%		5,6695E+14			
Mediana		5,4900E+14			
Varianza		1,306E+29			
Desv. estándar		3,61363E+14			
Mínimo		1,00			
Máximo		1,00E+15			
Rango		1,00E+15			

Figura 10. Descripción de los datos estadísticos de tres segmentos con medidas de tendencia central

En esta figura, se presentan los valores de las medidas de tendencia central que se mantienen iguales en los dos primeros segmentos a diferencia del segmento tres, esto se debe a que los datos proporcionados en la variable (y), donde se determina la probabilidad de acceso satisfactorio son distintos, debido a que los dos primeros preámbulos son equivalentes entre ellos, contrario del último preámbulo que tiene una variación 14 preámbulos con los dos primeros. Además se puede observar que en el primer y segundo segmento existe una desviación estándar de $3,52 \times 10^{14}$ a diferencia del tercer segmento donde la desviación estándar es igual a $3,61 \times 10^{14}$, donde se puede interpretar en que la diferencia para acceder

satisfactoriamente a la red entre los dos primeros segmentos y el tercer segmento es de nueve décimas.

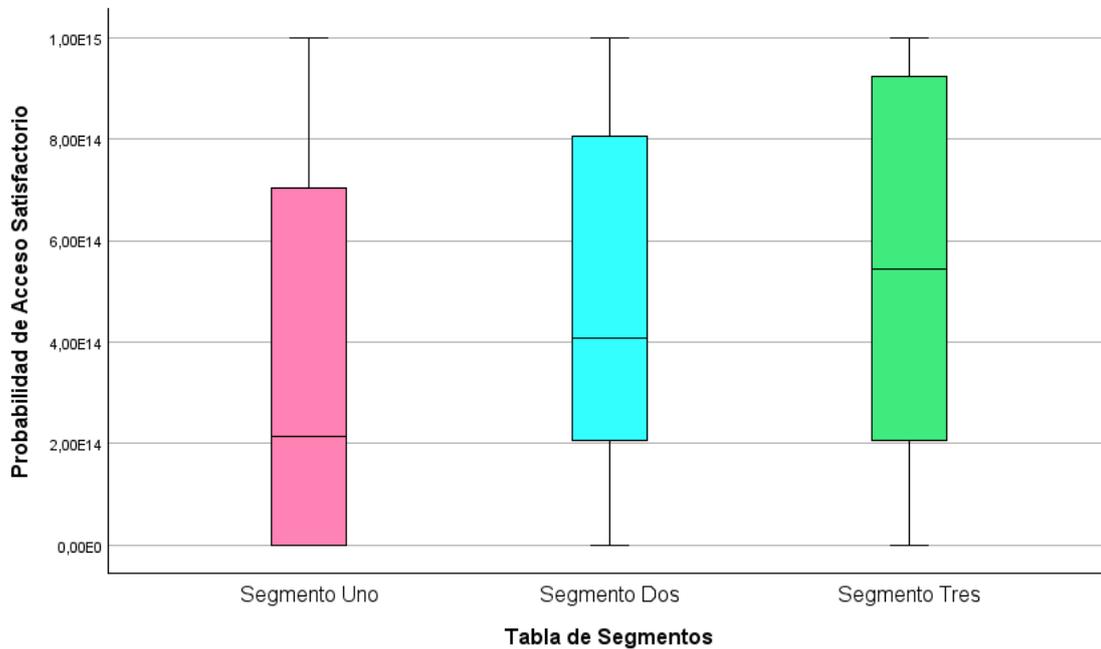


Figura 11. Diagrama de cajas de P_5 de tres segmentos con recursos y cargas diferentes

El comportamiento de la variable en el diagrama de cajas es diferente con los tres segmentos, esto quiere decir que la dispersión de los datos de los tres segmentos son distintos, tal como se puede visualizar en la figura 22, esta diferencia dentro del diagrama de cajas se debe a que los números proporcionados en la base de datos con respecto a las cargas del tráfico y a los preámbulos establecidos son opuestos uno del otro, es por esto que en la figura 11, el primer segmento varía con respecto al segundo y tercer segmento dando una interpretación gráfica acertada. Se visualiza al primer segmento con una probabilidad de acceso satisfactorio menor con respecto a los segmentos dos y tres, esto se debe a que la carga de tráfico y los preámbulos asignados al primer segmento es mayor y menor con respecto a los otros dos segmentos que lo siguen, en resumen esto nos da a entender que si la carga de tráfico es mayor y los preámbulos asignados son escasos se tendrá una probabilidad de acceso satisfactorio reducida, mientras que si la carga de tráfico asignada es baja y los preámbulos que los acompañan son altos se tendrá una probabilidad de acceso satisfactorio amplia, es por esta razón que el segmento dos, se posiciona en el segundo lugar dentro del canal de acceso aleatorio, debido a que la carga de tráfico y los preámbulos que lo acompañan van a la par.

Descriptivos

Tabla de Segmentos			Estadístico	Error estándar	
Probabilidad de Acceso Satisfactorio	Segmento Uno	Media		3,7703E+14	6,60082E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,4289E+14	
			Límite superior	5,1118E+14	
		Media recortada al 5%		3,6337E+14	
		Mediana		2,1413E+14	
		Varianza		1,525E+29	
		Desv. estándar		3,90510E+14	
		Mínimo		1,17E+8	
		Máximo		1,00E+15	
	Rango		1,00E+15		
	Segmento Dos	Media		4,9199E+14	5,60091E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,7817E+14	
			Límite superior	6,0582E+14	
		Media recortada al 5%		4,8872E+14	
		Mediana		4,0824E+14	
		Varianza		1,098E+29	
		Desv. estándar		3,31354E+14	
		Mínimo		1,00	
		Máximo		1,00E+15	
	Rango		1,00E+15		
	Segmento Tres	Media		5,5759E+14	6,04186E+13
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,3480E+14	
			Límite superior	6,8037E+14	
		Media recortada al 5%		5,6161E+14	
		Mediana		5,4441E+14	
		Varianza		1,278E+29	
		Desv. estándar		3,57441E+14	
Mínimo			1,00		
Máximo			1,00E+15		
Rango		1,00E+15			

Figura 12. Descripción de los datos estadísticos de tres segmentos con medidas de tendencia central

La figura evidencia los valores de las medidas de tendencia central, los cuales son diferentes en los tres segmentos, esto se debe a que los datos proporcionados en la variable (y), donde se determina la probabilidad de acceso satisfactorio son distintos, debido a que los dos primeros preámbulos son equivalentes entre ellos, contrario del último preámbulo que tiene una variación de 14 preámbulos respecto a estos, mientras que los dos últimos valores en la carga de tráfico son equivalentes al contrario del primer valor dentro de la carga de tráfico. Por esta razón se observa que en el primer segmento existe una desviación estándar de $3,90 \times 10^{14}$, en el segundo segmento se tiene una desviación estándar de $3,31 \times 10^{14}$ y finalmente en el tercer segmento contamos con una desviación estándar de $3,57 \times 10^{14}$, esto se interpreta en que la diferencia para acceder satisfactoriamente a la red del segmento uno al segmento dos es de cinco décimas con nueve centésimas, mientras que del segmento dos al segmento tres la diferencia es de dos décimas con seis centésimas.

1.10.2 Mecanismo para la estimación de la carga en el canal de acceso aleatorio

Considerando que el número total de transmisiones de preámbulos en un RAO (i) es $n_t(i)$, sea $Y_j(i)$ la variable aleatoria que significa la transmisión del preámbulo j en RAO (i). $Y_j(i)$ tendrá un valor comprendido entre 0 y 1. Si el preámbulo j ha sido enviado por algún UE en RAO (i), entonces $Y_j(i)$ será igual a 1, y en todos los demás casos, será igual a 0. Sus probabilidades son descritas en la ecuación 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbb{P}\{Y_j(i) = 0\} = \left(1 - \frac{1}{R}\right)^{n_t(i)} \\ \mathbb{P}\{Y_j(j) = 1\} = 1 - \left(1 - \frac{1}{R}\right)^{n_t(i)} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Donde R es el número de preámbulos disponibles

$$\mathbb{E}\{Y_j(i)\} = 1 - \left(1 - \frac{1}{R}\right)^{n_t(i)} \quad (2)$$

Entonces, en RAO (i), la cantidad de preámbulos que se han utilizado es $n_u(i)$:

$$n_u(i) = \sum_{j=0}^R Y_j(i) \quad (3)$$

Para lo cual el valor previsto de la misma es:

$$\mathbb{E}\{n_u(i)\} = R \left[1 - \left(1 - \frac{1}{R}\right)^{n_t(i)} \right] \quad (4)$$

Suponiendo que $\mathbb{E}\{n_u(i)\}$ varía lentamente, podemos utilizar una media temporal a corto plazo de $n_u(i)$ para estimar $\mathbb{E}\{n_u(i)\}$. Sea $n_u(i)$ una estimación exponencialmente de $\mathbb{E}\{n_u(i)\}$ en RAO (i), con $\alpha < 1$.

$$\hat{n}_u(i) = \alpha \hat{n}_u(i-1) + (1 - \alpha)n_u(i) \quad (5)$$

Por último, el número esperado de preámbulos transmitidos utilizados viene dado por la ecuación (6).

$$n_t(i) = \frac{\log\left(1 - \frac{\hat{n}_u(i)}{R}\right)}{\log\left(1 - \frac{1}{R}\right)} \quad (6)$$

Este número representa la carga del canal de acceso aleatorio en un RAO.

1.10.3 Asignación de recursos en el proceso de acceso aleatorio

Se procede a analizar la distribución de recursos en el RAP mediante una celda con S segmentos, como se muestra en la Fig. 13. Los usuarios de los servicios eMBB, mMTC y URLLC son atendidos por cada segmento de red. Cada servicio tiene asignado un nivel de prioridad. Para obtener acceso a los bloques de recursos de tiempo-frecuencia (RB) para la transferencia de datos, cada UE en un segmento debe finalizar el RAP de 4 pasos.

El gNodeB utiliza una política de asignación de recursos para distribuir los preámbulos del RAP a cada segmento. Se deduce que un número considerable de usuarios independientes son responsables de producir llegadas. Por tanto, tiene sentido modelar las llegadas a cada segmento mediante un proceso de Poisson.

De esta manera se evidencia que a cada segmento se le asigna un bloque de recursos. Los preámbulos que no están asignados a ningún segmento también se consideran compartidos y están disponibles para ser utilizados por todos los segmentos. Por esta razón se tiene presente los S segmentos y el número de segmentos más el bloque compartido, es decir $S + 1$ bloques de preámbulos.

Por último, se considera que ningún segmento será designado para adjudicaciones UL grants debido al número limitado de segmentos de red. No importa de qué segmento proceda un acceso, si el gNB lo detecta correctamente y no ha colisionado, competirá por las adjudicaciones UL grants disponibles en cada RAO. Con esto se busca garantizar el acceso de cada segmento por medio de requisitos mínimos intentando maximizar los accesos satisfactorios de los diferentes recursos dentro de la red.

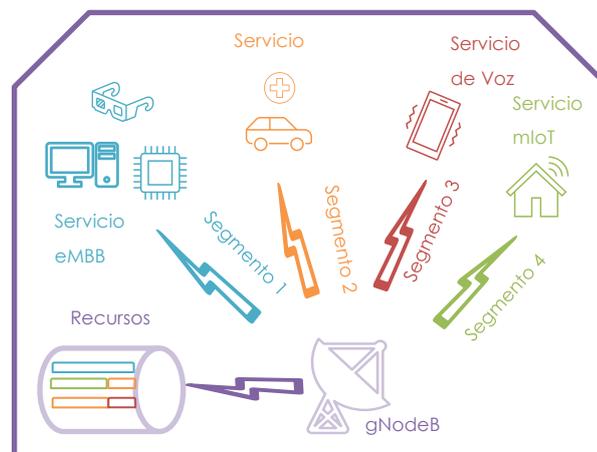


Figura 13. Modelo de sistema, RAN 5G con NS

Elaborado por: Javier Castro

1.10.4 Reconocimiento del modelo de colisión

Cuando dos o más UE envían el mismo preámbulo al mismo tiempo, existen dos patrones de colisión. En el primero, los preámbulos enviados por varios UE no pueden ser descodificados por el gNB. Varios UE emiten preámbulos, por lo que la transmisión Msg1 es el único lugar en el que se producen colisiones. En el segundo modelo, se identifican todos los Msg1 y colisionan los Msg3.

Dado que el objetivo en este trabajo es examinar el comportamiento de la RACH en condiciones de funcionamiento difíciles, presumiblemente ejecutamos la detección de colisiones en Msg1. Dicho de otro modo, sólo los Msg1 que se hayan decodificado correctamente y no hayan colisionado podrán optar a un ULgrants.

1.10.5 Probabilidad de acceso satisfactorio como métrica de análisis del desempeño de la red

Dentro de una red 5G se necesitan indicadores clave de rendimiento (KPIs), debido a que se debe analizar el desempeño del RACH slicing por ende en este trabajo se empleará la siguiente definición:

- $P_s(s)$: Para cada segmento S , es la proporción del número total de equipos de usuario que completan con éxito el RAP dividido por el número total de intentos en un periodo de N RAOs.

$$P_s(S) = \frac{\# \text{ accesos satisfactorios por segmento}}{\# \text{ total de accesos por segmento}}, s = 1, \dots, S \quad (7)$$

1.10.6 Modelo analítico del sistema

Se propuso realizar una modelación de Acceso Aleatorio Programado (RAP) para analizar las métricas de desempeño de la red ante variadas cargas de tráfico, con el objetivo de identificar y analizar el rendimiento del canal de acceso aleatorio, a través de NS.

A excepción de que se especifique lo contrario o resulte obvio por el contexto, las variables definidas como "número de X " denotan el valor medio de " X " para cada RAO. La asignación de recursos a los distintos "segmentos de red" se muestra en la figura 14. Distinguiremos entre "segmentos" de recursos y "bloques".

Hay varios preámbulos para cada bloque. La cantidad de preámbulos asignados a un bloque determinado está directamente correlacionada con la distribución de las solicitudes de acceso procedentes de cada "segmento de red". Por lo tanto, el porcentaje de accesos de "segmento" que utilizan el bloque compartido puede calcularse mediante la ecuación 8.

$$\frac{L_0}{L_0 + L_s} \quad (8)$$

Mientras que los restantes utilizan el identificador de acceso del bloque reservado para cada segmento serán asignados mediante la ecuación 9.

$$\frac{L_s}{L_0 + L_s} \quad (9)$$

Donde L_s es el número de identificadores de acceso reservados para cada segmento y L_0 es el reservado para el bloque 0.

Sea $a_s(k)$ el número de transmisiones del segmento s en el k -ésimo intento, y sea k_s^m el número máximo de intentos. Teniendo en cuenta la división entre bloques comunes y reservados, podemos calcular la mediana del número de preámbulos transmitidos en cada bloque mediante la ecuación 10.

$$N_s = \frac{L_s}{L_s + L_0} \sum_{k=1}^{k_s^m} a_s(k), \quad s = 1, \dots, S. \quad (10)$$

Sumamos la porción de preámbulos transmitidos desde cada trozo al bloque compartido para obtener una media para cada RAO, utilizando la ecuación 11.

$$N_0 = \sum_{s=1}^S \frac{L_0}{L_s + L_0} \sum_{k=1}^{k_s^m} a_s(k) = \sum_{s=1}^S \frac{L_0}{L_s} N_s \quad (11)$$

Para que la primera transmisión desde un dispositivo móvil durante un RAO al gNB se envíe con satisfacción se deben cumplir 3 puntos indispensables.

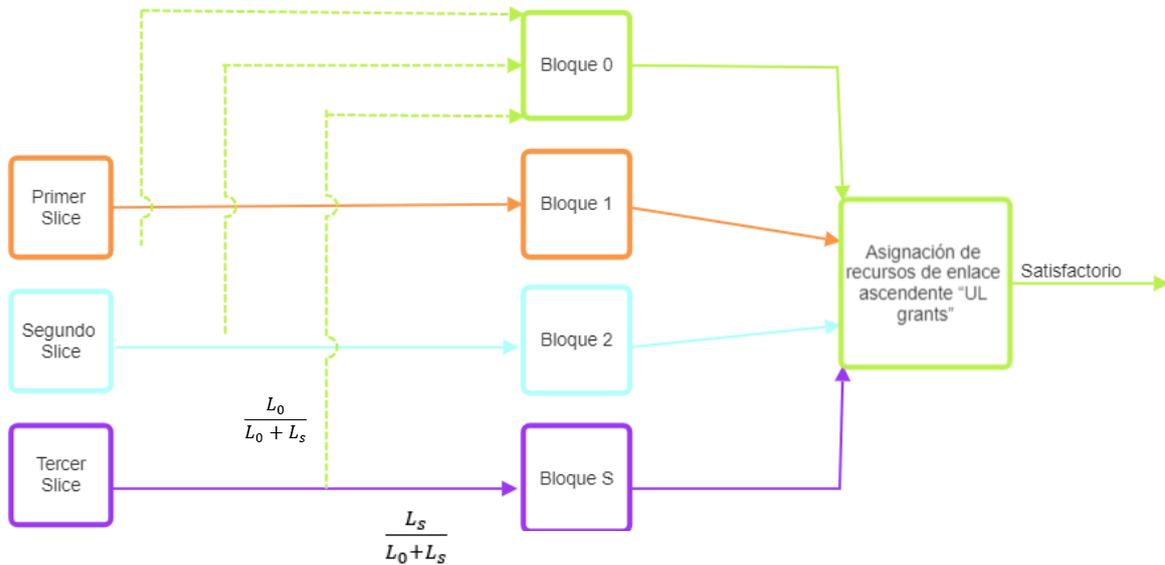


Figura 14. Segmentos y bloques de recursos

Elaborado por: Javier Castro

Los preámbulos que el gNB identifica correctamente y no colisionan se recompensan con una concesión UL. En consecuencia, calcularemos las probabilidades de éxito en estos casos para ver con qué frecuencia se producen a lo largo de nuestras pruebas, es decir:

- a. El primer mensaje “Msg1” es detectado de manera satisfactoria por medio del nodo base.
- b. El primer mensaje no debe colisionar
- c. La concesión del estado UL se realiza para preámbulos detectados no colisionantes.

Por lo tanto, calcularemos las probabilidades de éxito en estas circunstancias para valorar las probabilidades de éxito referidas a los accesos.

1.10.6.1 Probabilidad de identificar Msg1

El éxito en la detección del Msg1 es proporcional al número de transmisiones previas del Msg1 dentro del mismo intento de acceso. De ello se encarga el RAP (sistema de rampa de potencia). El factor s se incluye en la especificación 3GPP para proporcionar un nuevo nivel de priorización de segmentos. Por lo tanto, la probabilidad de detección en intento k , segmento s , $P_s^1(k)$, se halla mediante la ecuación 12:

$$P_s^1(k) = 1 - e^{-k\Delta_s} \quad (12)$$

El número total de preámbulos detectados puede calcularse multiplicando la probabilidad de detección de cada bloque A través de la cantidad total de preámbulos empleados, como se ilustra en las ecuaciones 13 y 14.

$$N_s^1 = \frac{L_s}{L_s + L_0} \sum_{k=1}^{k_s^m} P_s^1(k) a_s(k), \quad s = 1, \dots, S \quad (13)$$

$$N_0 = \sum_{s=1}^S S \frac{L_0}{L_s + L_0} \sum_{k=1}^{k_s^m} P_s^1(k) a_s(k) = \sum_{s=1}^S \frac{L_0}{L_s} N_s^1 \quad (14)$$

1.10.6.2 Probabilidad de detección de no colisión del Msg1

Utilizando la ecuación 15, podemos obtener la probabilidad de no colisión P_s^{nc} de los preámbulos transmitidos del bloque s dado el número de preámbulos de cada bloque y el número de preámbulos detectados por el gNB.

$$P_s^{nc} = \left(1 - \frac{1}{L_s}\right)^{N_s^1 - 1} \quad (15)$$

1.10.6.3 Probabilidad de obtener la concesión de enlace ascendente Uplink Grant

Se puede predecir que la probabilidad de que un preámbulo P_s^2 entregado en el bloque s obtenga un uplink grant o una acceso satisfactorio en Msg2 puede estar dado por medio de un problema conocido como bolas y contenedores, ya que este ha sido descrito como un modelo de asignación aleatorio y se los describe en la ecuación 16.

$$P_s^1 = \min \left(1, \frac{G}{g_s}\right) \quad (16)$$

Donde G es el número total de uplink grants y g_s es el número medio de los uplink grants necesarios para los preámbulos del bloque s , donde g_s se determina multiplicando el número de preámbulos detectados por la probabilidad de no colisión, calculado por medio de la ecuación 17.

$$g_s = N_s^1 P_s^{nc} \quad (17)$$

Es factible derivar la probabilidad de éxito y de no colisión del Msg2 en la porción s a partir de las probabilidades de éxito y de no colisión en cada bloque, comparando la proporción de intentos que atraviesan el bloque 0 con la proporción que atraviesa el bloque asignado a la porción s , por esta razón se utilizan las ecuaciones 18 y 19.

$$P_s^2 = \frac{L_s P_s^2 + L_0 P_0^2}{L_s + L_0}, \quad s = 1, \dots, S \quad (18)$$

$$P_s^{nc} = \frac{L_s P_s^{nc} + L_0 P_0^{nc}}{L_s + L_0}, \quad s = 1, \dots, S \quad (19)$$

La probabilidad de éxito $P_s(k)$ en el intento que ocupa la posición k debido al k th para el segmento s puede calcularse por medio de la ecuación 20 a partir de (12), (18) y (19):

$$P_s(k) = P_s^1(k) P_s^2 P_s^{nc} \quad (20)$$

Si asumimos que el número de nuevas llegadas de equipos IoT en el segmento s es a_s , entonces obtenemos la ecuación 21 y 22:

$$a_s(1) = a_s \quad (21)$$

$$a_s(k+1) = a_s(k)(1 - P_s(k)), \quad k = 1, \dots, k_s^m - 1 \quad (22)$$

Multiplicando el número de transmisiones (a_s) por la probabilidad de éxito (P_s) de cada intento (k), podemos obtener el throughput (número medio de accesos con éxito por RAO) del segmento s , como se muestra en la ecuación 23.

$$a_s^* = \sum_{k=1}^{k_s^m} a_s(k) P_s(k) \quad (23)$$

Como último paso, por medio de la ecuación 24 determinamos la probabilidad de éxito dividiendo el número de emisiones con éxito por el número total de transmisiones intentadas.

$$P_s = \frac{a_s^*}{a_s} \quad (24)$$

1.10.7 Transmisión del Preámbulo

En el estándar de comunicaciones 5G, los dispositivos acceden a la red a través de un canal de acceso aleatorio que emplea una serie de preámbulos de acceso aleatorio. En 5G se utilizan 54 preámbulos de acceso aleatorio los cuales son limitados y están basados en contienda es decir que tiene que competir con otros usuarios para acceder al canal, ya que al

no tener contienda la estación base asignará de manera automática un preámbulo directo por lo cual el usuario se conectará de manera automática.

Para que numerosos dispositivos busquen acceso a una red al mismo tiempo, se utilizan 54 preámbulos. Cada cliente selecciona un preámbulo de acceso aleatorio del conjunto para utilizarlo en su solicitud de conexión a la estación base.

Cabe señalar que la cantidad exacta de preámbulos de acceso aleatorio puede variar dependiendo de la estructura y el planteamiento del diseño de la red 5G elegidos por el operador. El canal de acceso aleatorio en 5G y para este estudio en particular se empleó una serie de 54 preámbulos.

Con el canal de acceso aleatorio de 5G, numerosos dispositivos pueden conectarse simultáneamente a la red sin afectar negativamente al rendimiento. El acceso justo y eficiente a la red está garantizado para todos los dispositivos mediante la asignación equitativa de recursos y el uso de procedimientos de acceso aleatorio para controlar la aparición de colisiones, tal como se muestra en la figura 15.

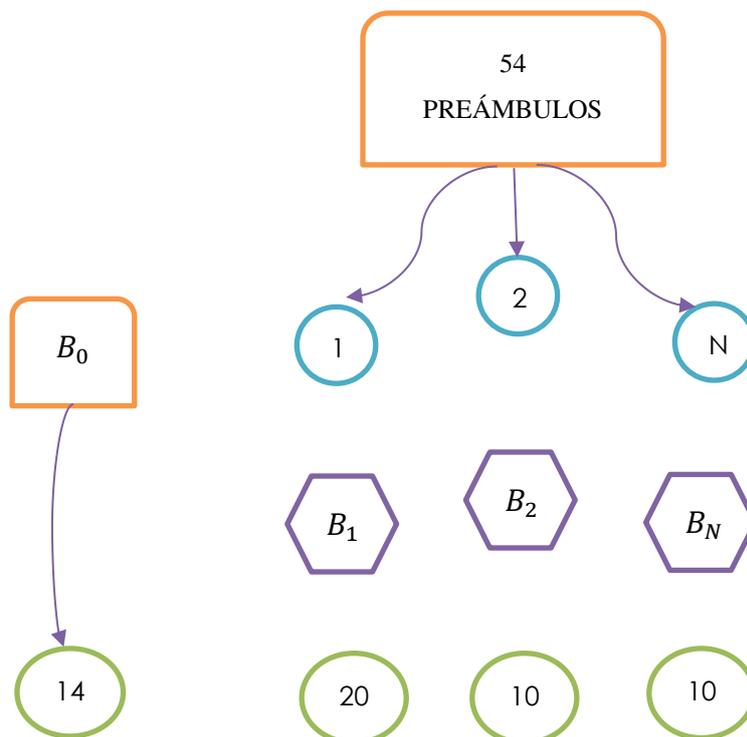


Figura 15. Acceso basado en contienda

Elaborado por: Javier Castro

Donde los equipos de usuario competirán por el acceso al canal a través de un preámbulo el cual será un ticket de acceso para el usuario, cabe resaltar que estos preámbulos tendrán

recursos limitados para repartir dentro de la red para los N segmentos de red que se tengan asignados, por lo que se asignaran bloques de recursos B_1, \dots, B_N donde a cada segmento se asignará un bloque de recurso es decir un conjunto de preámbulos por ejemplo en este caso a B_1 se le asignó 20 preámbulos de los 54 previstos, quedando restantes 34 preámbulos los cuales han sido repartidos en los bloques restantes pero conservando una cierta cantidad para B_0 el cual representa al bloque compartido.

La cantidad de preámbulos de acceso aleatorio es irrelevante para el número máximo de dispositivos conectados. Por otro lado, está influenciada por una serie de factores específicos de la red 5G, como la capacidad, el ancho de banda disponible, la distribución de recursos y las regulaciones de control de acceso.

Los preámbulos de acceso aleatorio en 5G tienen como objetivo brindar a los dispositivos una amplia gama de opciones para personalizar sus solicitudes de conexión a la red. Los dispositivos se conectan con la estación base utilizando un preámbulo de acceso aleatorio que eligen de un conjunto.

Los numerosos preámbulos de acceso aleatorio evitan que se produzcan colisiones cuando numerosos dispositivos intentan conectarse a una red a la vez. Los preámbulos de acceso aleatorio sirven de "identificador" único para cada dispositivo conectado, lo que permite a la red controlar con mayor eficacia el acceso y la distribución de recursos.

Cada dispositivo que intenta conectarse a la red debe elegir primero un preámbulo de entre un conjunto de posibles preámbulos. La colección ampliada de preámbulos de 5G permite asignar recursos de forma más flexible y dar soporte a más usuarios que nunca.

El dispositivo emite el preámbulo RA en la subportadora designada durante la ventana de transmisión programada. La emisión se produce en el canal de acceso aleatorio, que es una sección del espectro reservada para las primeras conexiones de red de los dispositivos. Los preámbulos de acceso aleatorio emitidos por los dispositivos son recibidos por la estación base, que los descodifica para determinar qué preámbulo se ha enviado realmente.

Para resolver las colisiones, la estación base avisa a los dispositivos para que retransmitan el preámbulo de acceso aleatorio si accidentalmente lo emiten simultáneamente o si se produce una colisión en el canal. Para evitar la congestión y maximizar el uso de los recursos, se emplean métodos de resolución de colisiones.

Network Slicing utiliza la misma estrategia que una red 5G convencional a la hora de enviar preámbulos en el canal de acceso aleatorio. Pero lo que separa los segmentos de red es la cantidad de un determinado recurso que obtienen. Para conectarse a una red, un dispositivo elegirá un preámbulo de acceso aleatorio de entre los que se le proporcionen. La estación

base puede saber a qué segmento pertenece el dispositivo en función del preámbulo que recibe y asignarle los recursos adecuados.

Para asignar mejor los recursos a los servicios y aplicaciones individuales, se puede utilizar Network Slicing en la fase de transmisión del preámbulo. Por ejemplo, se pueden priorizar los recursos para la "alta prioridad" por encima de la "baja prioridad".

1.10.8 Asignación de recursos con UL grants

Durante la fase de concesión de enlaces ascendentes se utilizan quince valores distintos de tipo de asignación de recursos, "3 grants por slot" que se refiere a la asignación de recursos específicos en un determinado período de tiempo o "slot" en el canal de acceso aleatorio.

Un "grant" se refiere a la autorización o el permiso para que un dispositivo realice una transmisión en el canal de acceso aleatorio. En 5G, se utilizan múltiples slots para gestionar las transmisiones de varios dispositivos.

En cada RAO de duración 5ms, tenemos 5 slots y el sistema asigna 3 grants por slot, esto significa que en cada slot se permitirán tres transmisiones independientes de dispositivos, dando como resultado los 15 UL grants en un RAO, así se evidencia en la figura 16.

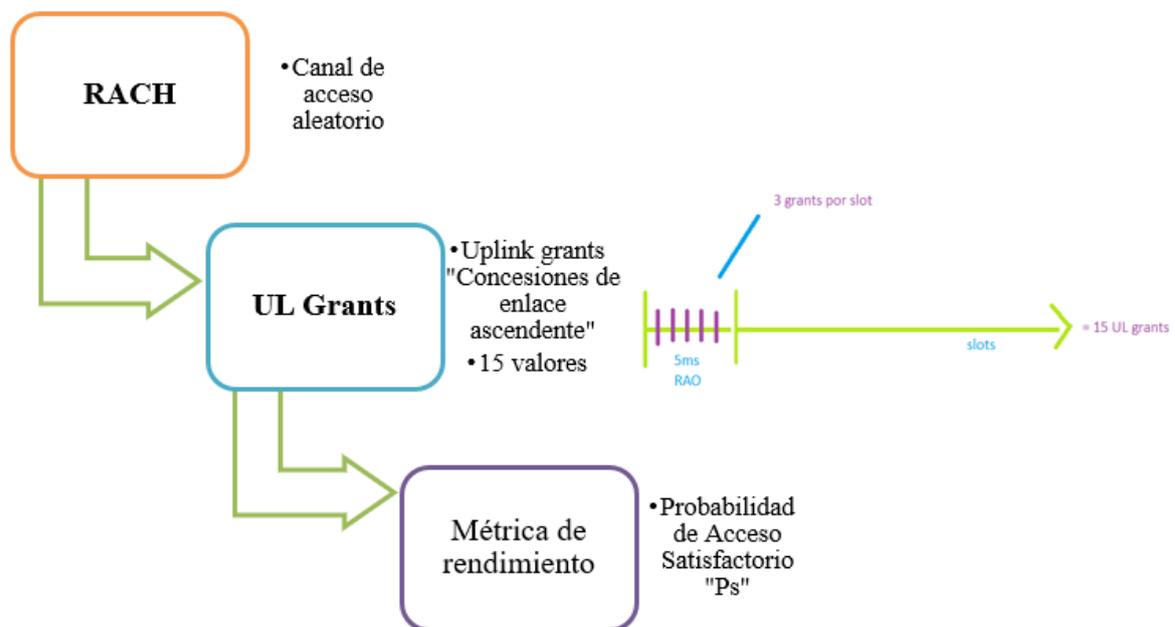


Figura 16. Asignación de UL grants y niveles para la repartición de recursos

Elaborado por: Javier Castro

Esta es la razón por la cual la fase de concesión de enlaces ascendentes utiliza únicamente quince valores distintos para la asignación de recursos. Esto es importante en situaciones de alta densidad de dispositivos, como en el acceso aleatorio en redes 5G masivas, ya que permite un acceso más eficiente al canal de acceso aleatorio y reduce las colisiones entre dispositivos que intentan acceder al mismo tiempo.

El acceso aleatorio es fundamental en las comunicaciones móviles, ya que permite a los dispositivos transmitir pequeños mensajes de control, solicitudes de recursos o informar su presencia en la red. La asignación de múltiples grants por slot es una técnica que mejora la capacidad de la red para gestionar el acceso de múltiples dispositivos de manera ordenada y eficiente.

Donde el dispositivo envía un preámbulo de acceso aleatorio a la red para obtener acceso, de esta manera la estación base recibe los preámbulos de acceso aleatorio de los dispositivos y los analiza para identificar posibles colisiones. Para evitar más interferencias, en caso de colisión se aplica un procedimiento de resolución de colisiones.

Una vez detectada y resuelta una colisión, la estación base elige un dispositivo y le proporciona acceso a un conjunto de recursos exclusivos de esa porción. Dependiendo de las normas de asignación y de los requisitos de la porción, estos recursos pueden incluir la asignación de subportadoras, la asignación de intervalos de tiempo y otros factores de acceso.

Cuando un dispositivo es elegido para recibir una subvención de enlace ascendente de la estación base, la subvención incluye detalles sobre las subportadoras y las franjas horarias que estarán disponibles para la transferencia de datos de enlace ascendente. Para enviar datos por el enlace ascendente, el dispositivo utiliza las asignaciones establecidas en la subvención.

La distribución aleatoria de recursos del canal de acceso de Network Slicing es dinámica y se ajusta a los requerimientos particulares de cada segmento de la red, al ofrecer flexibilidad. El rendimiento y la calidad de servicio de los servicios y aplicaciones dentro de una determinada "porción" pueden optimizarse utilizando diferentes estrategias de asignación a esos recursos.

El uso que hace Network Slicing de las concesiones de enlaces ascendentes en el RA mejora la eficiencia de la asignación de recursos al adaptar las asignaciones a las necesidades de cada segmento. Como resultado, todo el rendimiento de la red 5G incrementa gracias a un mejor uso de los recursos y a una mejor experiencia de usuario en general.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.11 Recursos físicos para el acceso al sistema

Los recursos físicos para acceder al sistema son los preámbulos; estos se generan utilizando secuencias ortogonales y se transmiten por medio del canal de acceso aleatorio. La probabilidad de acceder a la red puede verse afectada por la intensidad del tráfico, o el número de dispositivos IoT que intentan utilizar el canal de acceso aleatorio durante un periodo de tiempo concreto.

Hay más probabilidades de acceder a los preámbulos cuando hay poco tráfico y pocos dispositivos IoT compitiendo por el canal de acceso aleatorio. Esto se debe a que es más probable que la estación base identifique y asigne con éxito los recursos, ya que hay menos posibilidades de que se produzcan conflictos entre los preámbulos emitidos por los dispositivos.

Es posible que la tasa de éxito en el acceso a los preámbulos disminuya a medida que aumente la densidad de tráfico y más dispositivos intenten utilizar el canal de acceso aleatorio en un intervalo de tiempo determinado. Esto se debe a que la estación base tiene más dificultades para detectar dispositivos y asignar recursos cuando hay una mayor probabilidad de colisiones entre los preámbulos emitidos por los dispositivos.

Para aumentar la probabilidad de obtener acceso en momentos de alta densidad de tráfico, es necesario utilizar sistemas eficaces de gestión de recursos y algoritmos de resolución de colisiones. Las formas de mejorar la eficiencia en la utilización de recursos y reducir las probabilidades de colisión pueden materializarse mediante tácticas como programaciones de acceso aleatorio, algoritmos para la distribución de recursos y ajustes en los parámetros de la red.

La probabilidad de que los dispositivos IoT accedan con éxito puede variar cuando el volumen de tráfico es constante pero el número de preámbulos accesibles no lo es. Esto se debe a que la disponibilidad de preámbulos y la gestión de la red afectan directamente a la asignación de recursos en el canal de acceso aleatorio.

El número de preámbulos a disposición, la calidad de la señal, la configuración de la red y las regulaciones de gestión de recursos en vigencia impactan en las probabilidades de éxito en el proceso de acceso. Para incrementar las posibilidades de éxito en el acceso de los

dispositivos IoT y al mismo tiempo, hacer un uso óptimo de los recursos, se deben emplear estrategias como la segmentación de la red, la asignación optimizada de recursos, la reserva de recursos, la gestión dinámica de recursos, la priorización del tráfico crítico y, por último, la optimización y supervisión continua del rendimiento de cada segmento.

1.12 Rendimiento del Sistema

1.12.1 Probabilidad de Acceso Satisfactorio (P_s)

Para el desarrollo de la política de asignación de recursos se han empleado cuatro escenarios diferentes los cuales se dividen en: la red tradicional la cual no posee segmentos, mientras que por otro lado se tiene un escenario con dos segmentos y finalmente un escenario con tres segmentos, demostrando que a lo largo de este trabajo se han visto resultados muy prometedores dando un acierto apropiado dentro del incremento del servicio en comparación con la red que se utiliza comúnmente el día a día, es decir network slicing ayudó a tener varias probabilidades de acceso satisfactorio dentro del canal de acceso aleatorio 5G.

1.13 Parámetro f

El parámetro f se refiere al "factor de escala de la intensidad de tráfico", que se utiliza para ajustar o modificar la cantidad de tráfico de una red. Este parámetro es el valor que se multiplica por la intensidad de tráfico existente para aumentar o disminuir la carga en la red. El objetivo de escalar la intensidad de tráfico es ajustar la cabida de la red para responder a todos los requerimientos del servicio.

El factor de escala de la intensidad de tráfico se puede utilizar para representar el hecho de que una red experimente un aumento temporal en la demanda de tráfico o una disminución de esta. Esto permite analizar el comportamiento del sistema en diversas condiciones durante el período de simulación.

El valor del factor de escala de la intensidad de tráfico se determina según la planificación de los requisitos presentes en el servicio y de la red. Es un parámetro esencial para analizar el comportamiento de la red ante fluctuaciones en la demanda de tráfico.

1.14 Escenarios

Caso 1. Escenario de una red tradicional sin segmentos con diferentes cargas de tráfico

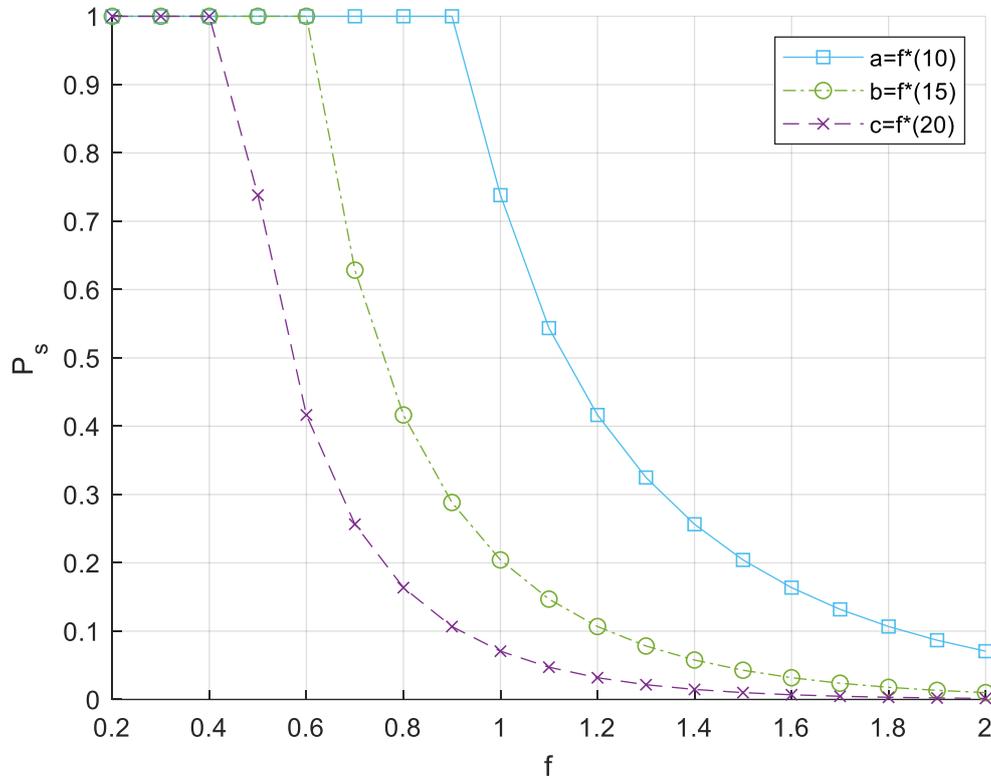


Figura 17. Tráfico de una red tradicional sin segmentos. $L=[54,54,54]$; $L_0=[0,0,0]$.

En este escenario, con una carga de tráfico relativamente baja de 10 dispositivos, hay una buena probabilidad de que la mayoría de los dispositivos puedan acceder exitosamente al canal de acceso aleatorio utilizando los 54 preámbulos disponibles. Dado que la competencia por los preámbulos es menor, la probabilidad de colisión y la necesidad de retransmisiones serán reducidas. Esto resultará en una alta probabilidad de acceso satisfactorio y una buena experiencia para los usuarios.

Con un incremento en la carga de tráfico a 15 dispositivos, la probabilidad de acceso satisfactorio se ve afectada. A medida que más dispositivos intentan acceder al canal de acceso aleatorio, hay una mayor posibilidad de colisiones y retransmisiones de preámbulos. Esto disminuye la eficacia de la concesión de recursos y causa retrasos en el acceso. La probabilidad de acceso satisfactorio es menor con respecto al caso anterior, pero aún razonable para la mayoría de los dispositivos.

Con una carga de tráfico aún mayor de 20 dispositivos, la probabilidad de acceso satisfactorio disminuye aún más. La competencia por los recursos del canal de acceso aleatorio es alta, lo que resulta en una mayor cantidad de colisiones y retransmisiones. Esto nos lleva a una congestión del canal y a una reducción en la calidad de servicio para algunos dispositivos. La probabilidad de acceso satisfactorio es mucho más baja y algunos dispositivos experimentan retrasos o dificultades con el acceso.

En resumen, en una red tradicional con 54 preámbulos, la carga de tráfico ejerce una influencia directa sobre la probabilidad de acceso satisfactorio y la eficiencia en la distribución de recursos, tal como se puede observar en la figura 17, ya que al desplazarse *c* con el color morado hacia la izquierda está completamente colapsado, mientras que *b* con el color verde queda prácticamente en medio de los dos segmentos indicando que está disminuyendo la eficacia de asignación de recursos y teniendo leves retrasos dentro del acceso, finalmente *a* representado por el color celeste tiene una probabilidad de acceso satisfactorio alta debido al desplazamiento de la línea hacia la derecha es decir gran parte de los dispositivos accederán de manera exitosa dentro del canal de acceso aleatorio .

Esta consideración se basa en el hecho de que a medida que más dispositivos entran en competencia por los preámbulos, se incrementa la posibilidad de colisiones y retransmisiones, lo cual puede incidir en la calidad del servicio y la experiencia del usuario. La adopción de estrategias avanzadas, como network slicing y una asignación inteligente de recursos, contribuye a mitigar estos desafíos y a optimizar el desempeño de la red en situaciones de elevada carga de tráfico.

Caso 2. Escenario de una red con dos segmentos y variando la carga de tráfico

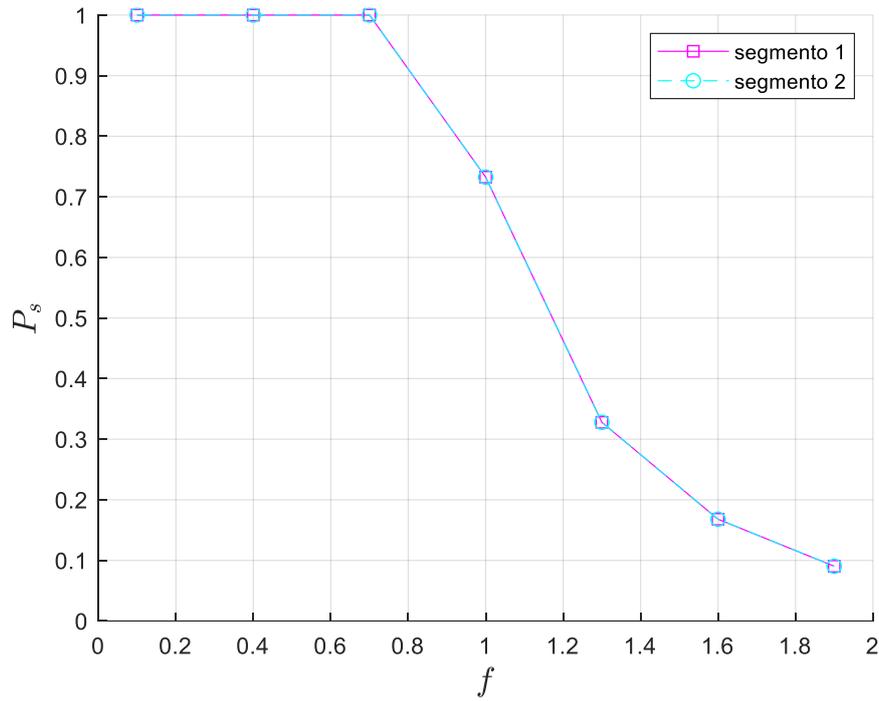


Figura 18. Carga de una red dividida en dos segmentos similares

$$\mathbf{a}_{1,2} = f \cdot [5 \ 5]; \quad L = [26 \ 26]; \quad L_0 = 2$$

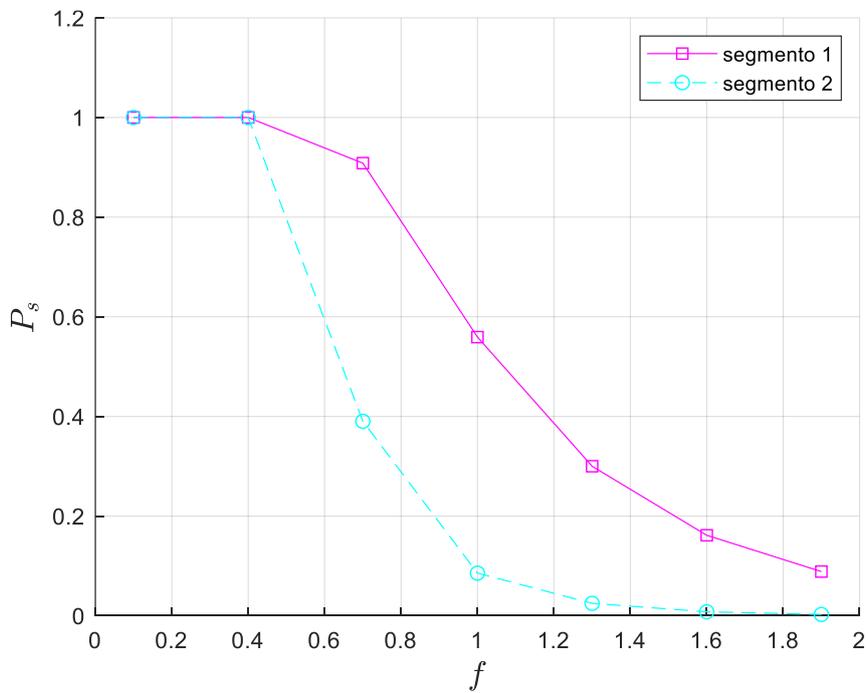


Figura 19. Carga de una red dividida en dos segmentos diferentes

$$\mathbf{a}_{1,2} = f \cdot [5 \ 10]; \quad L = [26 \ 26]; \quad L_0 = 2$$

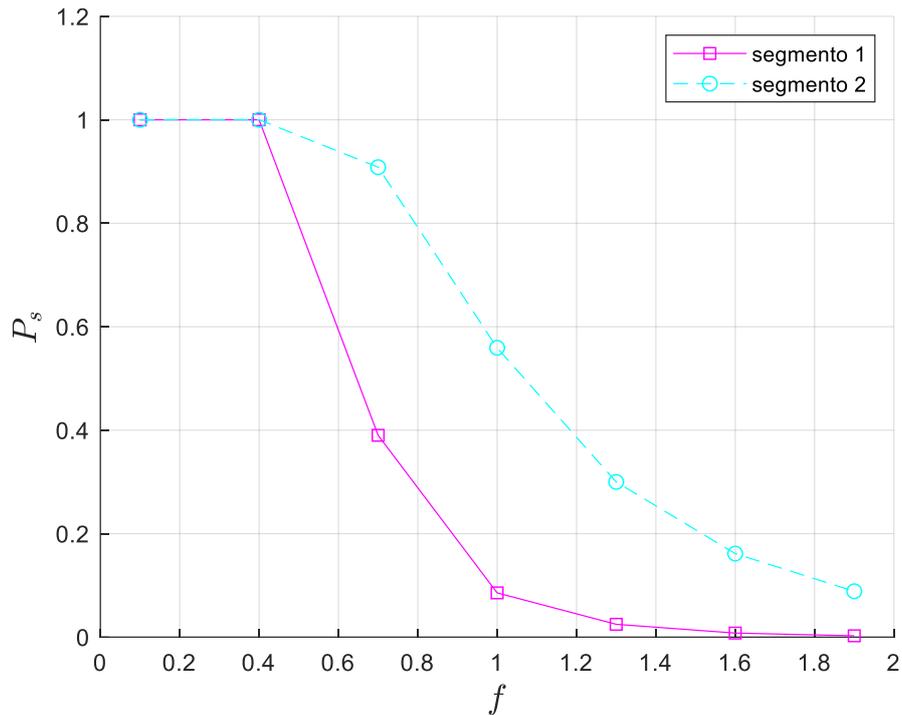


Figura 20. Carga de una red dividida en dos distintos segmentos

$$a_{1,2} = f \cdot [10 \ 5]; \quad L = [26 \ 26]; \quad L_0 = 2$$

Al tener un tráfico de red dividida en equipos de usuario IoT similares las curvas se sobreponen, como se observa en la figura 18. Para la primera carga de tráfico con 26 preámbulos y un bloque compartido de 2, se asignó un segmento específico en el canal de acceso aleatorio. Los dispositivos de esta carga de tráfico compiten por los preámbulos y recursos dentro de este segmento. Dado que la carga de tráfico es relativamente similar al tamaño del bloque compartido, la probabilidad de colisiones es menor y la probabilidad de acceso satisfactorio sería razonable.

De manera similar, para la segunda carga de tráfico con las mismas características, se asignó otro segmento separado en el canal de acceso aleatorio. Los dispositivos de esta carga de tráfico compiten dentro de su segmento designado, evitando interferencias con la primera carga de tráfico. Al igual que en el primer segmento, la probabilidad de acceso satisfactorio es razonable debido a la compatibilidad entre la carga de tráfico y el tamaño del bloque compartido.

Por otro lado en la figura 19, dado que la primera carga de tráfico tiene menos dispositivos (5), hay una menor competencia por los recursos dentro de su bloque compartido. Esto da como resultado una probabilidad de acceso satisfactorio razonablemente alta para esos dispositivos, ya que hay menos posibilidades de colisiones.

Por otro lado, la segunda carga de tráfico con (10) dispositivos enfrenta una competencia más alta por los recursos en su bloque compartido. Esto aumenta la probabilidad de colisiones y retransmisiones de preámbulos, disminuyendo la probabilidad de acceso satisfactorio.

Se puede apreciar el rendimiento de asignación de recursos por medio de la segmentación en la figura 20 ya que el tráfico es opuesto con respecto a la figura 19 , pero al ser empleada la política de asignación de recursos ambas curvas se comportan de la misma manera, la ventaja de la segmentación se visualiza dentro de estas gráficas ya que al incrementar la carga de la figura 19 o la carga de la figura 20 el rendimiento del segmento 1 o del segmento 2 no se ve afectada.

La segmentación de la red presenta importantes ventajas en este caso. Al designar vías distintas para cada tipo de tráfico, se maximizan las posibilidades de evitar colisiones y de garantizar el acceso. Además, se mejora la experiencia del usuario y se distribuyen mejor los recursos, ya que cada segmento está optimizado para su propia carga de tráfico.

En conclusión, la tasa de éxito del acceso y la eficacia de la asignación de recursos en el canal de acceso aleatorio pueden incrementarse mediante el uso de la segmentación de la red y la división de diferentes segmentos para cada carga referente al tráfico. Como resultado de un mejor reparto de los recursos y una menor interferencia entre tráficos, las redes pueden ofrecer un rendimiento superior a los usuarios.

Caso 3. Escenario de una red con tres segmentos, manteniendo los recursos y variando la carga de tráfico

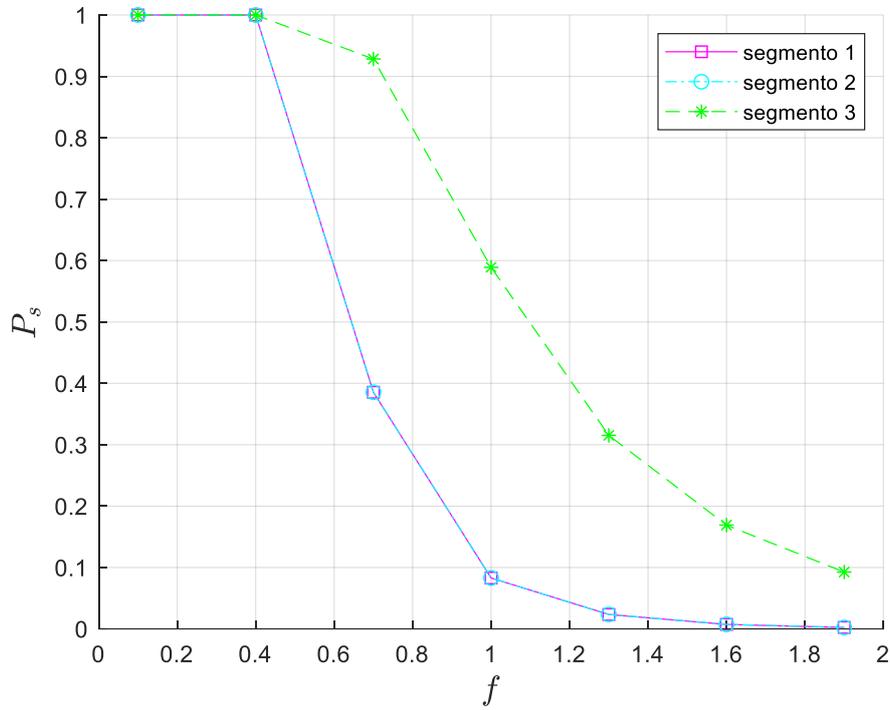


Figura 21. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 15 cargas

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 5]; \quad L = [13 \ 13 \ 27]; \quad L_0 = 1$$

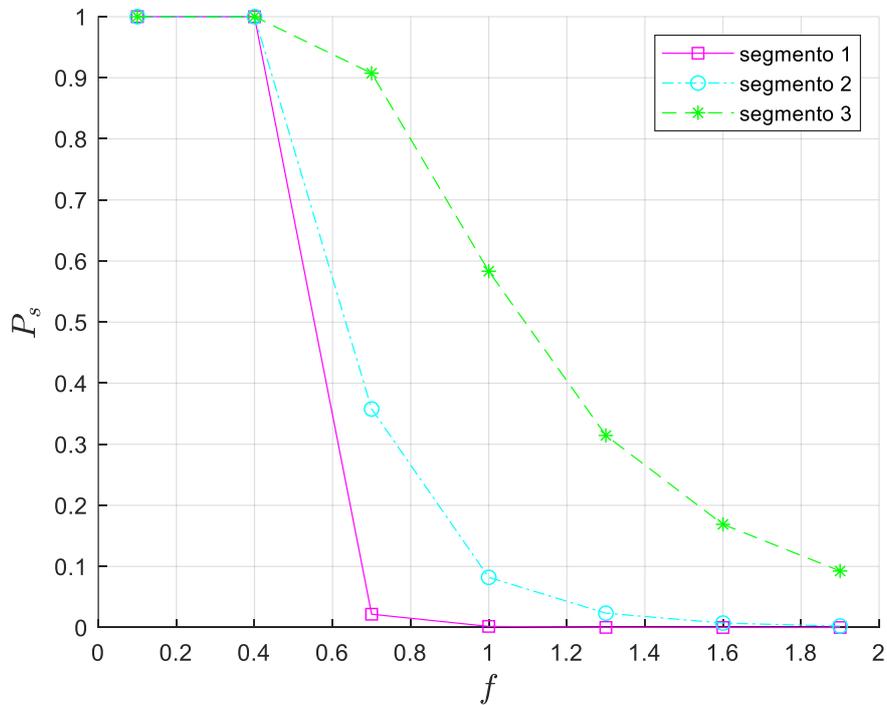


Figura 22. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas

$$a_{1,2,3} = f \cdot [10 \ 5 \ 5]; \quad L = [13 \ 13 \ 27]; \quad L_0 = 1$$

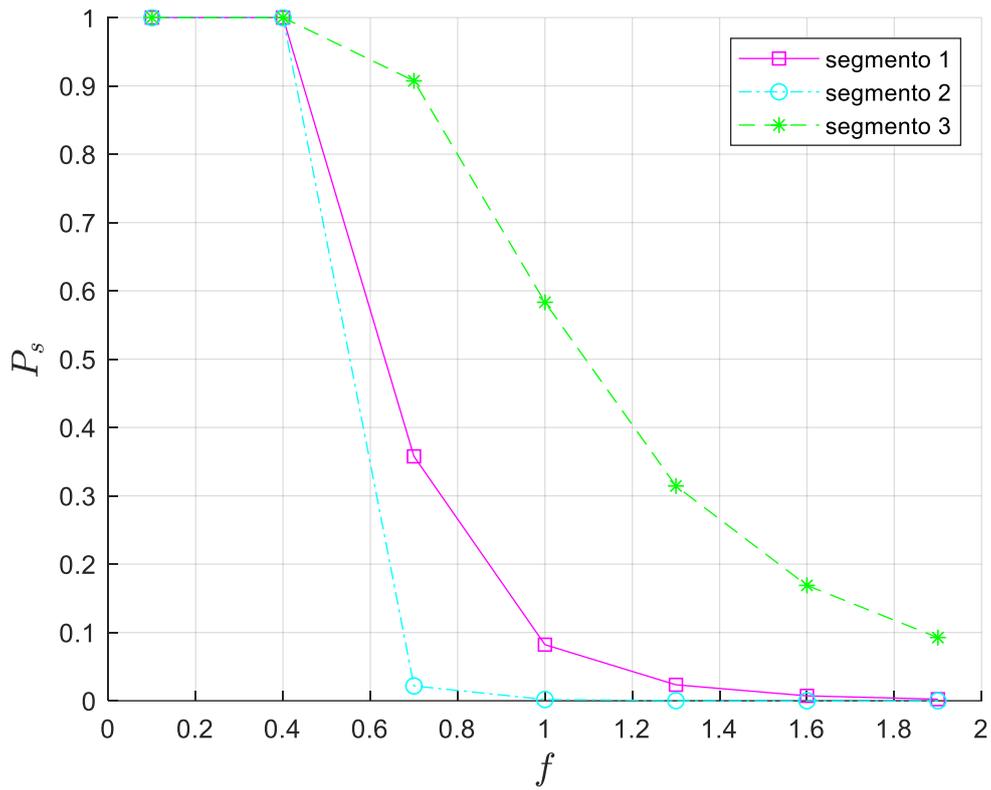


Figura 23. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 10 \ 5]; \quad L = [13 \ 13 \ 27]; \quad L_0 = 1$$

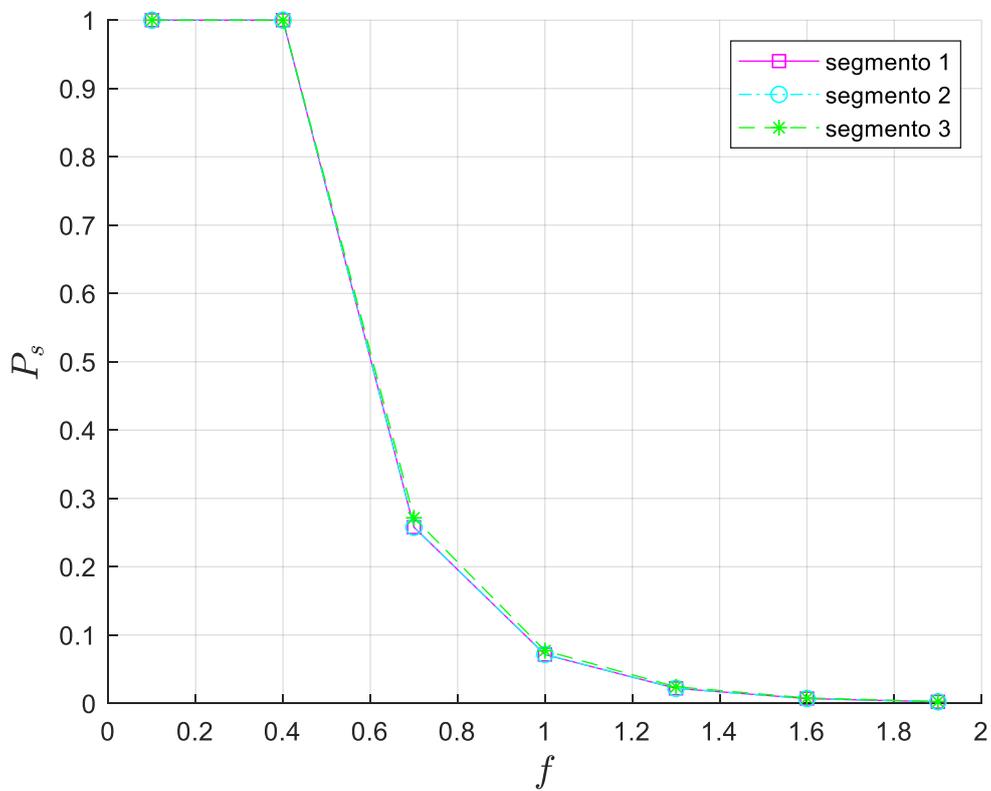


Figura 24. Tráfico de una red dividida en 3 segmentos con un total de 20 cargas

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [13 \ 13 \ 27]; \quad L_0 = 1$$

Escenario - Carga [5 5 5]:

En este ejemplo hay un total de 15 dispositivos en uso de tres redes diferentes (eMBB, mMTC y URLLC). A cada tipo de comunicación se le asignó una longitud de preámbulo única: 13, 13 o 27 caracteres. Además, se accede al canal de acceso aleatorio mediante un bloque común que utiliza todos los tipos de tráfico.

- eMBB (5 dispositivos): Todos los UE de este tráfico utilizan preámbulos de trece bits y compiten por un espacio de un solo bit en el canal de acceso aleatorio. Existe una probabilidad significativa de colisiones cuando numerosos dispositivos intentan acceder al mismo bloque compartido al mismo tiempo, ya que sólo hay 1 preámbulo por bloque compartido.
- mMTC (5 dispositivos): Utiliza preámbulos de 13 y compite consigo mismo dentro de un bloque común de 1 bit. Aunque sólo haya espacio para un preámbulo por bloque, sigue habiendo competencia por esos pocos recursos.
- URLLC (5 dispositivos): Los equipos de usuario URLLC tienen preámbulos de 27 bits y compiten en un bloque de 1 bit. Hay menos colisiones porque el preámbulo es más amplio.

Escenario - Carga [10 5 5]:

En este escenario, el tráfico eMBB consta de 10 dispositivos, el tráfico mMTC consta de 5 dispositivos, al igual que el tráfico en URLLC. Los bloques compartidos y los preámbulos asignados son los mismos que en el primer caso.

- eMBB (10 dispositivos): Incluso con la segmentación de la red y los bloques compartidos, la probabilidad de colisiones en el canal de acceso aleatorio aumenta a medida que el número de dispositivos en este tráfico crece por encima de 10 para eMBB. Las retransmisiones y los retrasos de acceso se deben a la competencia por los recursos.
- mMTC (5 dispositivos): En relación con el tráfico eMBB, se reduce la competencia dentro del bloque compartido de 1, lo que aumenta la probabilidad de éxito en el acceso.

- URLLC (5 dispositivos): Al asignar preámbulos de 27 y bloques compartidos de 1 se obtiene una probabilidad de éxito decente para los dispositivos URLLC, como en el escenario anterior.

Escenario - Carga [5 10 5]:

En este escenario, el tráfico se compone de 5 dispositivos para eMBB, 10 dispositivos para mMTC y 5 dispositivos para URLLC. Los preámbulos asignados y los bloques compartidos son los mismos que en los escenarios anteriores.

- eMBB (5 dispositivos): Con menos dispositivos en este tráfico, la probabilidad de colisiones es relativamente menor, lo que resulta en una probabilidad de acceso satisfactorio muy buena para los equipos de usuario.
- mMTC (10 dispositivos): Dado que hay más dispositivos compitiendo por los recursos en este bloque compartido, la probabilidad de colisiones es más alta. Sin embargo, al utilizar 13 preámbulos, existe para la asignación de recursos una mejor eficiencia demostrada.
- URLLC (5 dispositivos): La asignación de 27 preámbulos resulta en una probabilidad de acceso satisfactorio sumamente buena para los dispositivos URLLC, aunque la competencia por los recursos dentro del bloque compartido influye en el rendimiento.

Escenario - Carga [5 5 10]:

En este caso, el tráfico se compone de 5 dispositivos para eMBB, 5 dispositivos para mMTC y 10 dispositivos para URLLC. Los preámbulos asignados y los bloques compartidos son los mismos que en los escenarios anteriores.

- eMBB (5 dispositivos): Similar al escenario anterior, la probabilidad de acceso satisfactorio es razonable para este tráfico debido a la menor cantidad de dispositivos y preámbulos.
- mMTC (5 dispositivos): La asignación de 13 preámbulos resulta en una probabilidad de acceso satisfactorio comprensible para estos dispositivos, aunque existe cierta competencia en el bloque compartido.

- URLLC (10 dispositivos): Con una mayor cantidad de dispositivos y preámbulos de 27, la competencia por los recursos es mayor. La probabilidad de colisiones predomina en la posibilidad de otorgar un acceso satisfactorio.

En cada uno de estos escenarios, la introducción de network slicing disminuye las colisiones al asignar segmentos individuales para cada tipo de tráfico. A pesar de esto, la probabilidad de lograr un acceso satisfactorio sigue dependiendo de elementos como el tamaño de los bloques compartidos, la duración de los preámbulos y el número de dispositivos compitiendo por los recursos. Ajustar estos parámetros según las particularidades de cada tipo de tráfico conlleva a una mejora en la eficacia y calidad del servicio.

Caso 4. Impacto de la asignación de recursos en escenarios congestionados (alta carga de tráfico)

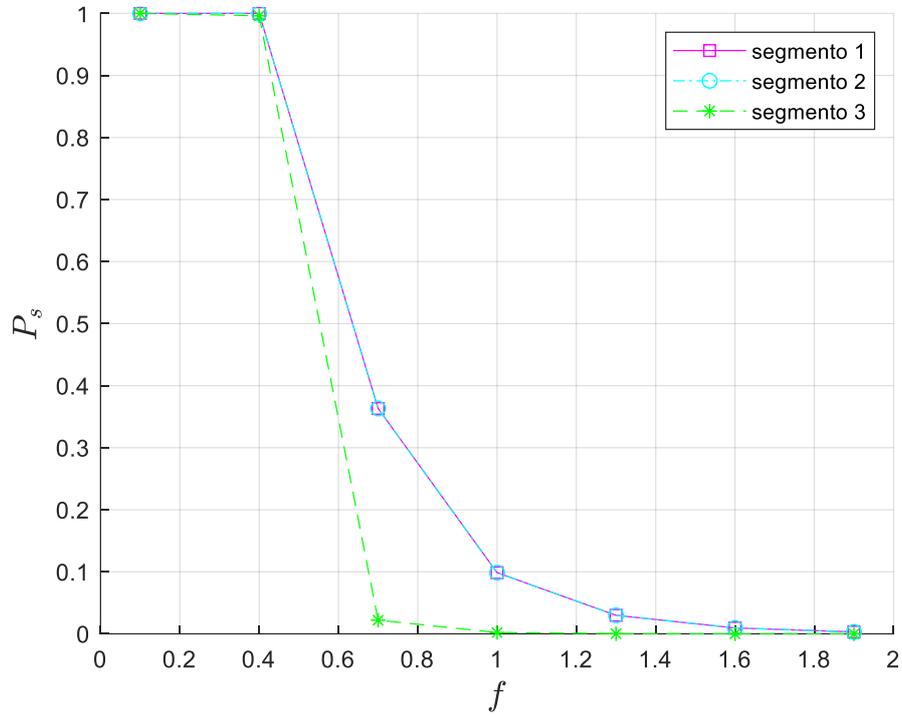


Figura 25. Tráfico de una red dividida en tres segmentos

$$\mathbf{a}_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [13 \ 13 \ 13]; \quad L_0 = 1$$

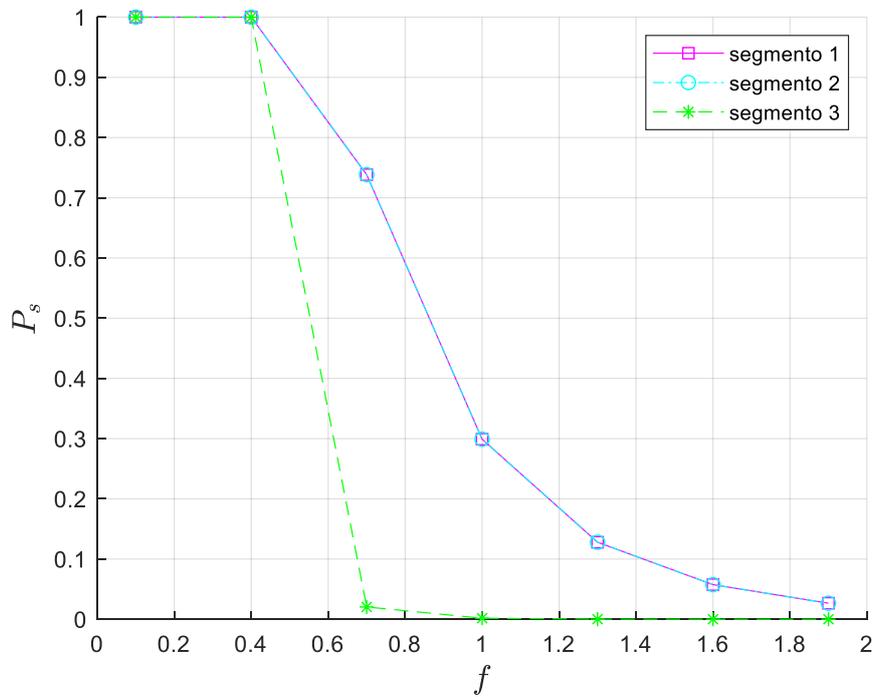


Figura 26. Tráfico de una red dividida en tres segmentos

$$\mathbf{a}_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [20 \ 20 \ 13]; \quad L_0 = 1$$

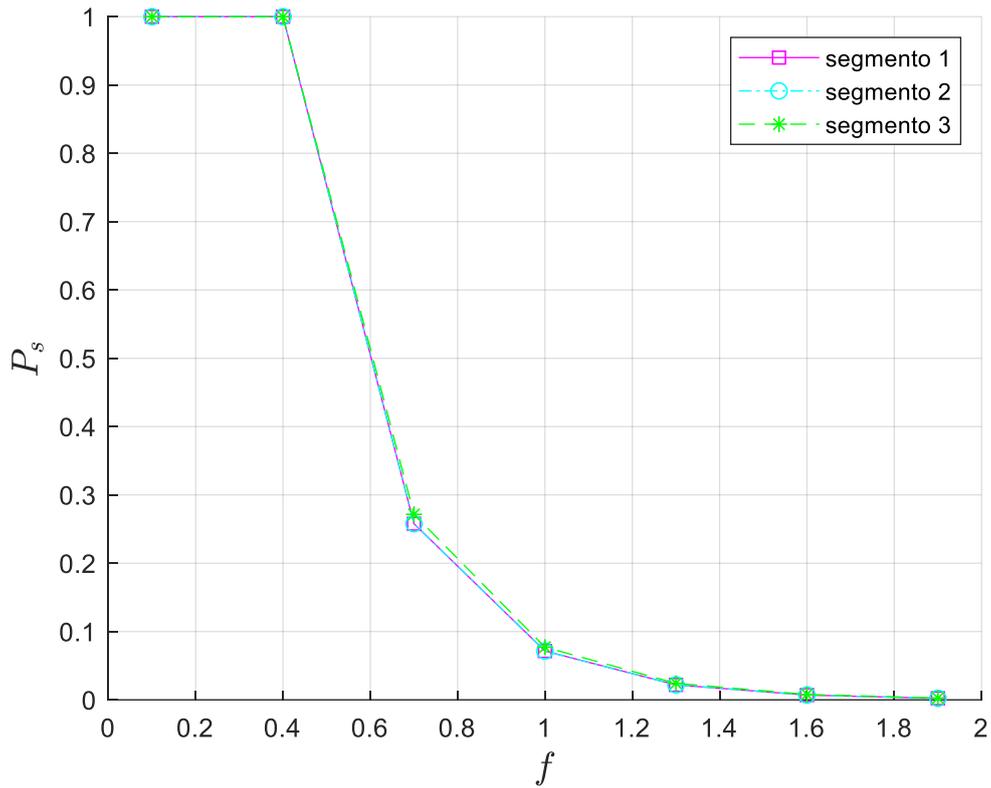


Figura 27. Tráfico de una red dividida en tres segmentos

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [13 \ 13 \ 27]; \quad L_0 = 1$$

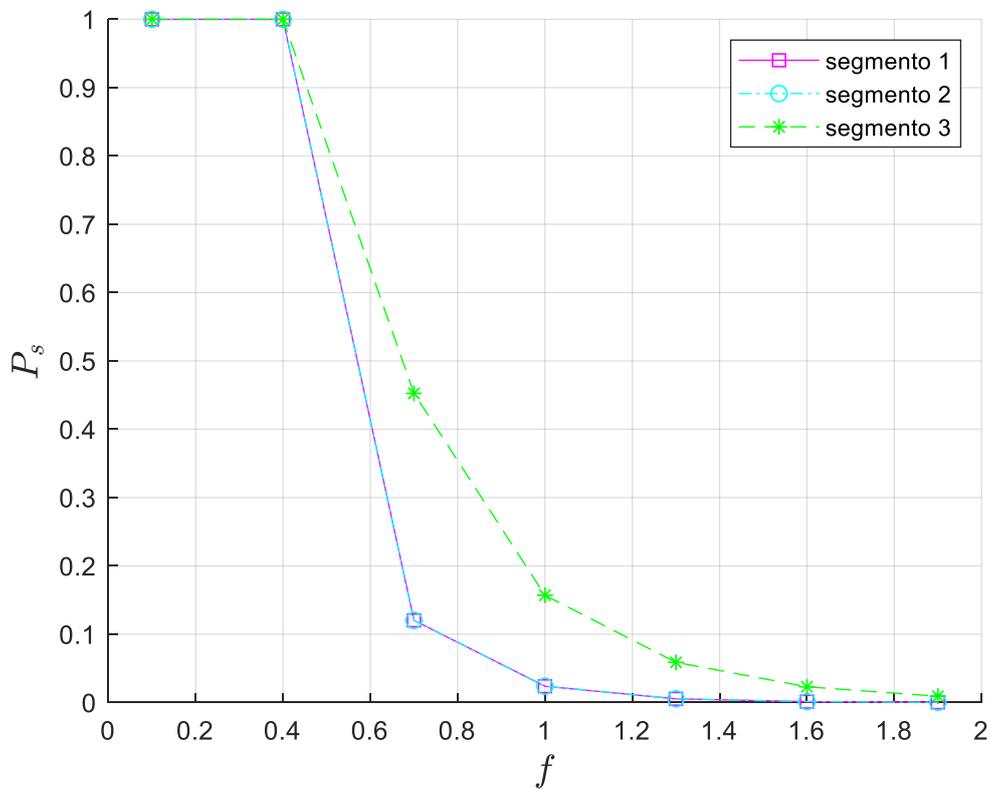


Figura 28. Tráfico de una red dividida en tres segmentos

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [10 \ 10 \ 33]; \quad L_0 = 1$$

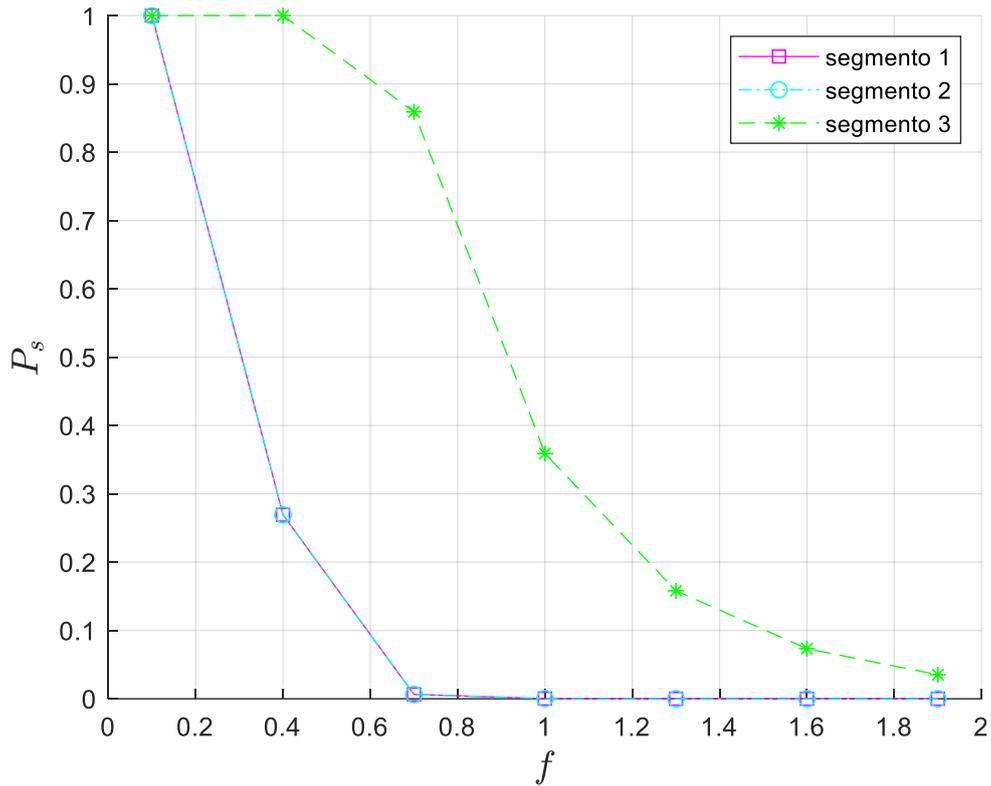


Figura 29. Tráfico de una red dividida en tres segmentos

$$a_{1,2,3} = f \cdot [5 \ 5 \ 10]; \quad L = [5 \ 5 \ 43]; \quad L_0 = 1$$

Lo que se ha realizado en el caso 4 con los diferentes escenarios asignados en esta etapa se debe a que se tienen diferentes cargas de tráfico como se lo había explicado en apartados anteriores en este caso se le asigna al último segmento una carga con un tipo de tráfico crítico, donde se van modificando los valores de los preámbulos de los 3 segmentos pero haciendo cambios notorios especialmente en el último segmento donde la asignación de recursos en escenarios congestionados demande una alta carga de tráfico, es por esta razón que existen grandes cambios dentro de cada gráfica desde la figura 25 hasta la figura 29.

En la figura 25, se tiene un tráfico equilibrado con 5 dispositivos eMBB, 5 dispositivos mMTC y 10 dispositivos URLLC. Todos los dispositivos comparten un bloque compartido de 1 y utilizan preámbulos de 13. Como los preámbulos son relativamente bajos, la probabilidad de colisiones en el canal de acceso aleatorio es baja, lo que mejora la probabilidad de acceso satisfactorio. Sin embargo, dado que hay 10 dispositivos URLLC, que son más críticos en términos de latencia y fiabilidad, existe una mayor competencia por los recursos de red, lo que afecta al rendimiento en situaciones de congestión, ya que los accesos son basados en contiendas.

En la figura 26, la probabilidad de acceso satisfactorio es menos pronunciada que en el primer escenario, esto da a entender que a medida que se asignan más recursos y capacidad para gestionar el tráfico, la probabilidad de acceso satisfactorio mejora, mientras que en la figura 27, la gráfica muestra una mejora constante en la probabilidad de acceso satisfactorio, ya que a medida que se aumenta el factor de escala de la intensidad de tráfico (f), este tiende a desplazarse hacia la derecha, mejorando por completo la P_s .

Finalmente se comprende que mientras mayor sea el número de preámbulos en el último segmento, mejor será la probabilidad de acceso satisfactorio tal como se ve en la figura 28 y 29.

En general, a medida que se aumenta el factor de escala de la intensidad de tráfico (f), la probabilidad de obtener directamente un acceso satisfactorio se perfecciona en la mayoría de los escenarios, aunque la forma exacta de las curvas varía según la duración de los preámbulos y las cargas de tráfico dentro de la configuración de la red. En aplicaciones de tráfico críticas como URLLC, donde se necesita baja latencia y gran fiabilidad, la alta probabilidad de éxito en el acceso es crucial.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

1.15 Conclusiones

- Si hay mucho tráfico y varios dispositivos intentan acceder al canal de acceso aleatorio a la misma vez, al no realizar la asignación de recursos de manera correcta, aumenta la probabilidad de colisiones y disminuye la probabilidad de acceso con éxito en la red segmentada. La congestión y los retrasos en el ingreso al canal de acceso aleatorio repercuten negativamente tanto en la experiencia del usuario como el desempeño de la red, se aprecian afectados en estas circunstancias.
- Segmentar los recursos del canal de acceso aleatorio de una red 5G, tiene varias ventajas sobre las redes tradicionales en términos de eficiencia, calidad del servicio y experiencia del usuario. Permite un funcionamiento más eficaz y óptimo de la red al adaptarse mejor a los distintos requisitos de tráfico y aplicaciones.
- Al separar el tráfico eMBB, URLLC y mMTC, los recursos pueden asignarse de forma más precisa y eficiente. La segmentación de la red beneficia tanto su rendimiento como la eficiencia del acceso a los medios y otros aspectos relacionados, ya que cada uno puede optimizarse para un tipo de tráfico diferente.
- Cuando se trata de demandas de tráfico y requisitos de red, la segmentación ofrece mayor flexibilidad y agilidad. Si hay un aumento en la demanda de un determinado tipo de tráfico, la distribución de preámbulos de ese tipo de tráfico puede recibir más recursos sin perjudicar a otros segmentos de red.
- Implementar Network Slicing de forma que aumente la probabilidad de éxito en el acceso de los dispositivos IoT exige una estrategia en la cual se debe tener en cuenta las características y necesidades únicas de cada segmento, así como la flexibilidad para hacer cambios para las distintas cargas de tráfico.

1.16 Recomendaciones

- Los requisitos de la red, las aplicaciones y el software que se ejecute en ella determinarán el número ideal de segmentos. Para aprovechar las ventajas previstas

y garantizar una experiencia de usuario positiva, es necesario realizar una investigación exhaustiva para identificar la configuración óptima.

- Antes de comenzar la investigación, es importante establecer objetivos precisos, como la probabilidad de éxito en el acceso a la red mediante la segmentación de la misma en el canal de acceso aleatorio.
- Construir escenarios de tráfico realistas y específicos para cada aplicación y tráfico. De este modo, podrá evaluarse la eficacia de la segmentación de la red en situaciones reales.
- En función de los requisitos de los distintos tipos de tráfico, se debe establecer criterios para asignar recursos a cada segmento para de este modo perfeccionar la productividad y la calidad del servicio, lo que implica asignar los recursos de manera eficiente.
- Evaluar la eficacia de la segmentación de redes en diversos tipos de tráfico con simulaciones y herramientas de modelado de redes. Antes de realizar modificaciones en una red.
- Medir y analizar todas las medidas de rendimiento que sean importantes, como la probabilidad de obtener un acceso satisfactorio. De este modo, se puede evaluar cómo afecta la segmentación de la red a la satisfacción del usuario final y al rendimiento general de la red.
- Es importante asegurarse de que las soluciones de segmentación de red son lo suficientemente flexibles como para gestionar las distintas cargas de tráfico y las próximas actualizaciones de la red.
- A la hora de adoptar la segmentación de la red, resulta primordial tomar en consideración la seguridad y la fiabilidad, sobre todo en casos de aplicaciones de misión crítica como el tráfico URLLC.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Freddy, J. Frere, Q. Directores, J. Navarro, O. Juan, and J. Ramos Muñoz, "TRABAJO FIN DE MÁSTER INGENIERÍA EN INFORMATICA Diseño e implementación de una propuesta de Network Slicing," Escuela Internacional de Posgrado, Granada, 2018.
- [2] I. Chih-Lin, S. Han, Z. Xu, Q. Sun, and Z. Pan, "5G: Rethink mobile communications for 2020+," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, no. 2062. Royal Society of London, pp. 1–13, Mar. 06, 2016. doi: 10.1098/rsta.2014.0432.
- [3] M. Polese, M. Centenaro, A. Zanella, and M. Zorzi, "M2M Massive Access in LTE: RACH Performance Evaluation in a Smart City Scenario," May 2016.
- [4] A. Biral, M. Centenaro, A. Zanella, L. Vangelista, and M. Zorzi, "The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks," *Digital Communications and Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 1–19, Feb. 2015, doi: 10.1016/J.DCAN.2015.02.001.
- [5] L. Tello-Oquendo *et al.*, "Performance Analysis and Optimal Access Class Barring Parameter Configuration in LTE-A Networks with Massive M2M Traffic," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 4, pp. 3505–3520, Apr. 2018, doi: 10.1109/TVT.2017.2776868.
- [6] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, *LTE-The UMTS Long Term Evolution*, vol. 1. 2011.
- [7] S. Choi, W. Lee, D. Kim, K.-J. Park, S. Choi, and K.-Y. Han, "Automatic Configuration of Random Access Channel Parameters in LTE Systems," pp. 1–6, Oct. 2011, doi: 10.1109/WD.2011.6098212.
- [8] B. Montoya, "Cómo funciona el Network Slicing y por qué es clave para el 5G - Telefónica," Apr. 26, 2022. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/como-funciona-el-network-slicing-y-por-que-es-clave-para-el-5g/> (accessed May 12, 2022).
- [9] S. Zhang, "An Overview of Network Slicing for 5G," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 3, pp. 111–117, Jun. 2019, doi: 10.1109/MWC.2019.1800234.
- [10] S. D'Oro, F. Restuccia, and T. Melodia, "Toward Operator-To-Waveform 5G Radio Access Network Slicing," *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 4, pp. 18–23, Apr. 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900316.
- [11] L. Peterson and B. Davie, "6.1 Issues in Resource Allocation — Computer Networks: A Systems Approach Version 6.2-dev documentation," *books.google.com*, 2007. <https://book.systemsapproach.org/congestion/issues.html> (accessed May 13, 2022).
- [12] W. S. H. M. W. Ahmad *et al.*, "5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 14460–14488, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966271.
- [13] A. Gohil, H. Modi, and S. Patel, *International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP)*. 2013.

- [14] V. Ram, "Multi-access Channels and Random Access Channels," Jul. 30, 2019.
- [15] R. Harwahyu, R. G. Cheng, C. H. Wei, and R. F. Sari, "Optimization of Random Access Channel in NB-IoT," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 391–402, Feb. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2017.2786680.
- [16] J. Burke, "What is Network Slicing and How Does it Work in 5G?," May 2022. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/network-slicing> (accessed Jul. 12, 2022).
- [17] A. Alcalá Álvarez, "Trabajo fn de grado Connectivity Automation for 5G Networks www.uam.es Universidad Autónoma de Madrid," Madrid, May 2021. [Online]. Available: www.uam.es
- [18] P. L. Vo, M. N. H. Nguyen, T. A. Le, and N. H. Tran, "Slicing the edge: Resource allocation for RAN network slicing," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 6, pp. 970–973, Dec. 2018, doi: 10.1109/LWC.2018.2842189.
- [19] A. Ksentini and N. Nikaein, "Toward Enforcing Network Slicing on RAN: Flexibility and Resources Abstraction," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 6, pp. 102–108, Jun. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1601119.
- [20] A. Laya, L. Alonso, and J. Alonso-Zarate, "Is the random access channel of LTE and LTE-A suitable for M2M communications? A survey of alternatives," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 4–16, Mar. 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.111313.00244.
- [21] R. Guang Cheng, C. Hung wei, S. Li Tsao, and F. Ching Ren, "RACH Collision Probability for Machine-type Communications," *IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2021.
- [22] D. A. Santander González, "EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO DEL TIEMPO DE BACKOFF EN LA RED DE ACCESO RADIO DE IOT CELULAR CON TRÁFICO MASIVO," Universidad Nacional de Chimborazo, 2021.

ANEXOS

Anexo 1: Entorno del espacio de trabajo utilizado para asignar las cargas de tráfico y de recursos.

