



*Agreste-Urbano Ilusorio, Cecilio Colón. Técnica mixta. 2016*

•  
•  
•  
**Ingeniería**  
•  
•



# Hogar inteligente sustentado por una red 5G

Noel Rodríguez Torres  
Master in Computer Science  
Dr. Nelliud Torres  
Electrical and Computer  
Engineering and Computer  
Science Department  
Polytechnic University  
of Puerto Rico

---

*Abstracto - En estos tiempos donde nuestros estilos de vida, el trabajo y la familia nos requieren tanto tiempo, la automatización de tareas rutinarias cumple un rol importante para facilitarnos nuestro diario vivir. Es por este movimiento que, además de los teléfonos celulares, las redes móviles 5G deberán admitir miles de millones de dispositivos y aplicaciones IoT. Para lograr este objetivo, 5G se basa en el concepto de división de red (5G Network Slicing) que aún no se comprende completamente debido a sus múltiples posibles implementaciones. Este documento describe cómo la división en red 5G puede acomodarse y beneficiar la implementación de un "Hogar Inteligente", una aplicación IoT muy popular en estos tiempos. El estado del arte de Hogar Inteligente se estudia a fondo durante este trabajo y se resumen los hallazgos. El Hogar Inteligente basado en la división de una red 5G y su implementación piloto serán descritos de manera concisa e integral.*

## Introducción

La ola actual de comunicación móvil regularmente se da entre seres humanos, pero cada vez estamos más de que este tipo de comunicación también sea utilizada para comunicar dispositivos,

enseres o equipos del hogar y el sistema móvil de próxima generación debe estar diseñado para eso. De hecho, el sistema móvil de 5ta generación, también conocido como 5G, tiene como objetivo admitir, además de los teléfonos inteligentes hambrientos de datos, miles de millones de dispositivos IoT (Internet de las cosas) que van desde simples, de bajo costo y bajo consumo de energía utilizando comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC) hasta algunos más avanzados que requieren comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (URLLC). Para lograr estos objetivos bastante diversificados, 5G se basa en el concepto de división de red que utiliza la virtualización de funciones de red (Network Functions Virtualization) y la red definida por software (Software Defined Networking). Sin embargo, este concepto aún se encuentra en una etapa joven y aún no se comprende completamente.

El Hogar Inteligente se ha convertido en una tendencia cada vez más solicitada por los usuarios ya a que facilita nuestro diario vivir automatizando tareas del hogar, así como dando la oportunidad de manejar nuestros dispositivos de manera remota. Además, es una herramienta muy importante en una sociedad que envejece porque allana el camino para la atención médica remota, permitiendo a las personas mayores permanecer más tiempo en su propio hogar. Esta misma cualidad es sumamente útil para situaciones donde sea requerido el confinamiento en el hogar como la pre-

sente pandemia del COVID-19 donde los Médicos, enfermeras y personal de la salud puedan atender a sus pacientes sin que estos tengan que salir de su hogar ayudando así a mantener el distanciamiento social. Este artículo tiene el objetivo de arrojar luz sobre cómo 5G Network Slicing puede soportar eficientemente y beneficiar el Hogar Inteligente en términos de rendimiento, gestión, seguridad y costo.

El artículo comienza con una breve, pero completa introducción sobre el concepto Hogar Inteligente. Continuaremos con un estudio a fondo de la implementación de Hogar Inteligente y se resumen los hallazgos. Luego se explica el concepto de división de red 5G. El núcleo del documento es, naturalmente, la presentación de la propuesta de Hogar Inteligente basado en la división de una red 5G. El documento concluye con algunas sugerencias de trabajo adicional.

## Conceptos acerca del Hogar Inteligente

El término "Hogar Inteligente" se usa para describir una casa que contiene una red de comunicación que conecta diferentes enseres, aplicativos o dispositivos y les permite ser controlados, monitoreados y accedidos de forma remota a través de la internet según las necesidades del usuario.

Como se muestra en la figura 1, las aplicaciones más populares de Hogar Inteligente son las siguientes:

- Cerraduras inteligentes y puer-



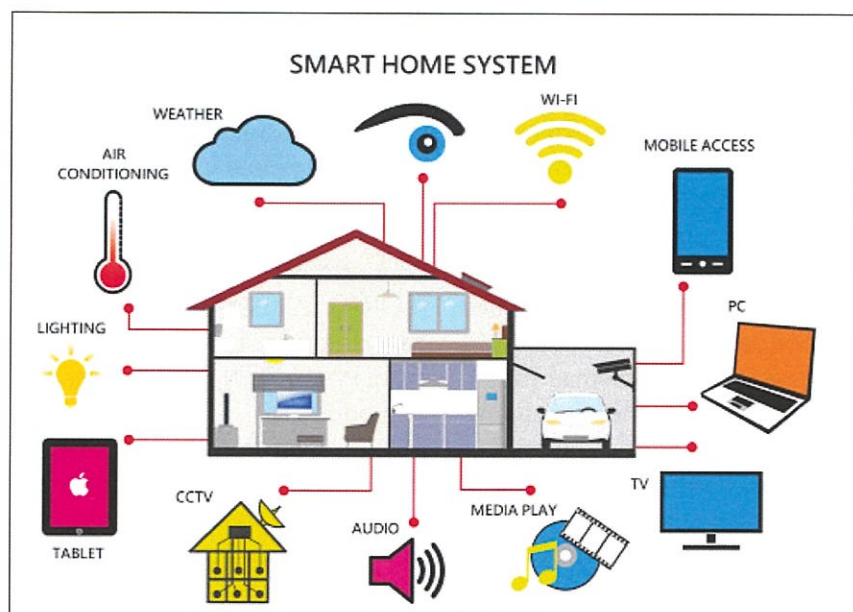


Figure 1. Aplicación para el hogar inteligente

tas de garaje: permiten que el propietario otorgue acceso a amigos o visitantes de manera remota.

- **Televisores inteligentes:** están conectados a la Internet y permiten el acceso al contenido a través de aplicaciones, como videos y música a demanda.

- **Cámaras de seguridad inteligentes:** permiten a los miembros del hogar monitorear sus hogares cuando están fuera o de vacaciones. Los sensores de movimiento inteligentes también pueden identificar la diferencia entre residentes, visitantes, mascotas y ladrones, y pueden notificar a las autoridades si se detecta un comportamiento sospechoso.

- **Persianas o cortinas inteligentes:** pueden ajustarse para mantener el mismo nivel de luz usando el seguimiento solar.

- **Termostatos inteligentes:** permiten a los usuarios programar, monitorear y controlar de forma remota las temperaturas del hogar. Estos dispositivos también aprenden los comportamientos de los propietarios de viviendas y modifican automáticamente la configuración para proporcionar

a los residentes la máxima comodidad y eficiencia.

- **Iluminación inteligente:** ajusta la intensidad de la luz, el color de acuerdo con la luminosidad de la habitación, el tiempo y la presencia humana.

- **Electrodomésticos inteligentes de todo tipo:** se pueden programar para realizar su tarea de acuerdo con la voluntad del usuario, como las cafeteras inteligentes pueden preparar una taza nueva tan pronto como se abra la puerta de la cocina.

- **Sistema de riego inteligente:** es capaz de automatizar el proceso de riego mediante el análisis de la humedad del suelo y las condiciones climáticas.

Para funcionar correctamente, estos dispositivos inteligentes deben estar conectados a una red confiable. El primer protocolo de comunicación para Hogar Inteligente fue X10 [1], desarrollado en 1975 por Pico Electronics de Glenrothes en Escocia, con el objetivo de permitir el control remoto de dispositivos y electrodomésticos. X10 es una tecnología unidirec-

cional y no totalmente confiable. Con la creciente popularidad de Hogar Inteligente, han surgido otras tecnologías inalámbricas con el fin de maximizar sus funcionalidades.

Hoy día muchos sistemas domésticos inteligentes todavía usan X10 aunque existen otros protocolos de comunicación inalámbrica como Zigbee [2] y Z-Wave [3] que utilizan tecnología de corto alcance y baja potencia como Bluetooth y WiFi. En la siguiente sección se proporcionan más detalles sobre el uso de estas tecnologías.

### Fundamentos del Hogar Inteligente

La mayoría de los hogares inteligentes de hoy están conectados a la Internet utilizando una de las tecnologías como ADSL (línea de abonado digital asimétrica), VDSL (línea de abonado digital de muy alta velocidad) fibra óptica o CATV (televisión por cable) [4] mediante módem (modulador demodulador). Para establecer una red doméstica, es necesario conectar un enrutador al módem. Este enrutador puede con bastante frecuencia proporcionar conexiones tanto de Ethernet como de LAN inalámbrica (Wifi) a varios dispositivos desde computadoras personales, servidores, TV, sistemas de medios y electrodomésticos tales como refrigeradores, acondicionadores del aire, etc. Puede actuar como servidor DHCP (Protocolo de configuración dinámica de host) [5] que asigna direcciones IP a dispositivos y como servidor DNS, que traduce los nombres de dominio a las direcciones IP numéricas necesarias para ubicar e identificar servicios y dispositivos informáticos. El enrutador también puede in-

cluir un firewall para la protección de la red doméstica y un enrutador NAT (Network Address Translation) que convierte una dirección IP local e interna para un host interno en una dirección IP global y visible en Internet.

Aunque es bastante eficiente y utilizable, Wireless LAN tiene algunas limitaciones importantes que describimos a continuación:

- **Seguridad débil:** Wireless Lan como tal viene sin ningún tipo de seguridad y los paquetes pueden ser interceptados, leídos y falsificados por terceros. Wi-Fi Protected Access (WPA) y Wi-Fi Protected Access II (WPA2) son dos protocolos de seguridad y programas de certificación de seguridad desarrollados por Wi-Fi Alliance para proteger las redes inalámbricas de computadoras. La Alianza definió esto en respuesta a serias debilidades que los investigadores habían encontrado en el sistema anterior, Wired Equivalent Privacy (WEP). El protocolo WPA implementa gran parte del estándar IEEE 802.11i. Para habilitar WPA o WPA2, los usuarios deben definir contraseñas que, por un lado, requieren más administración y, por otro lado, no son lo suficientemente confiables.
- **Configuración desafiante:** los dispositivos que utilizan LAN inalámbrica no pueden funcionar inmediatamente después del primer encendido, primero deben configurarse correctamente. Esta configuración, aunque trivial para los profesionales de TI, podría plantear desafíos a los usuarios no técnicos y resultar en una configuración incorrecta o deficiente, una eficacia limitada y vulnerabilidades críticas de seguridad.
- **Cobertura y confiabilidad limitadas:** la calidad de la señal de

LAN inalámbrica en un hogar depende en gran medida de las paredes, techos y objetos grandes como puertas, horno, refrigeradores, etc. Además, puede haber interferencia de radiofrecuencia con dispositivos que emiten señales electromagnéticas tales como radios AM/FM, televisores, hornos microondas, etc. La combinación de todos estos problemas puede dar lugar a conexiones deficientes o inestables en algunos lugares.

- **Alto consumo de energía:** si bien admite velocidades de datos más altas, el LAN inalámbrica requiere en promedio un 30% más de consumo de energía en la transmisión de datos que otras tecnologías inalámbricas como Bluetooth.

Debido a las limitaciones mencionadas, actualmente hay varios dispositivos domésticos como el medidor de electricidad y el sistema de seguridad para el hogar inteligente que basan su comunicación en otras tecnologías inalámbricas.

- **Medidor de electricidad:** un medidor inteligente es un dispositivo electrónico que registra el consumo de energía eléctrica y comunica la información al proveedor de electricidad para su monitoreo y facturación. Los medidores inteligentes generalmente registran la energía por hora o con mayor frecuencia, e informan al sistema central al menos una vez al día. Los medidores inteligentes permiten la comunicación bidireccional entre el medidor y el sistema central. En general, el proveedor de electricidad quiere tener una conexión aislada y segura entre el medidor y la central para evitar cualquier manipulación del medidor. Las comunicaciones del medidor a la red pueden ser inalámbricas, o mediante conexiones cableadas fijas, como el portador

de línea de alimentación (PLC). Las opciones de comunicación inalámbrica de uso común incluyen comunicaciones celulares M2M, redes inalámbricas ad hoc a través de Wi-Fi, redes inalámbricas de malla, inalámbrica de largo alcance y de baja potencia (LORA), ZigBee (inalámbrica de baja potencia, baja velocidad de datos) y Wi-SUN (Redes de servicios públicos).

- **Sistema de seguridad inteligente para el hogar:** consiste generalmente en un panel de control y una serie de dispositivos de seguridad como cerraduras de puertas, abridores de puertas de garaje, cámaras de vigilancia interiores y exteriores, luces, sirenas, detectores de humo / CO, sensores de agua, etc. Los paneles de control tienen la capacidad de conectarse a la LAN inalámbrica doméstica, pero para garantizar una disponibilidad del 99.99%, la comunicación del panel de control con la compañía de seguridad generalmente se realiza mediante una suscripción celular M2M con un operador móvil. Los dispositivos de seguridad para el hogar son en su mayoría sensores simples y de baja capacidad de energía, como detectores de humo / CO, sensores de proximidad, detectores de movimiento, etc. y el uso de LAN inalámbrica agotará todas sus baterías en poco tiempo. Para un uso de energía óptimo, estos dispositivos usan otros protocolos inalámbricos que consumen al menos un 30% menos de energía que las LAN inalámbricas, como Zigbee, Z-wave, Bluetooth.

Si bien la LAN inalámbrica es una tecnología muy eficiente y asequible y, por mucho, la más popular, no brinda un soporte adecuado a los dispositivos de baja potencia o aquellos con re-

quisitos de alta seguridad.

El 5G network slicing podría ser una alternativa ante la demanda de una nueva red doméstica inalámbrica capaz de soportar todos los dispositivos domésticos heterogéneos de manera eficaz y segura.

### Concepto 5G Network Slicing

Originalmente, la red móvil apunta a proporcionar conectividad para teléfonos móviles que están en movimiento en el exterior. Con los avances tecnológicos, los teléfonos móviles han migrado a redes móviles 3G y 4G y dejan las redes móviles 2G a dispositivos M2M que utilizan el enlace ascendente solo en intervalos de tiempo predefinidos para transmitir una pequeña cantidad de datos a su servidor en la nube.

Como sucesor de 4G, el sistema móvil 5G es conocido por su superioridad en términos de rendimiento, cobertura y calidad de servicio y la promesa de una banda ancha móvil mejorada (eMBB) con mayor velocidad de datos y el soporte de una amplia gama de servicios y aplicaciones que van desde comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC) y comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (URLLC). Para lograr este objetivo desafiante, el concepto de segmentación de red se presenta como la solución prometidora.

Para comprender el concepto de segmentación de red, comencemos con una breve introducción de la arquitectura del sistema móvil 5G.

La figura 2 muestra la separación del plano de usuario y el plano de control en la arquitectura de referencia 5G.

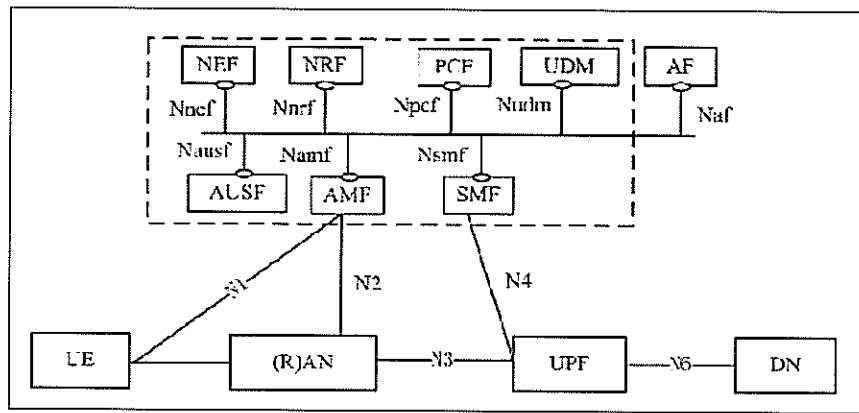


Figure 2. Arquitectura de referencia 5G

El plano de usuario consta de las siguientes funciones de red:

- **UE (User Equipment):** es el teléfono móvil del usuario.
  - **(R)AN (Radio Access Network):** es la función de red de acceso que proporciona conectividad al teléfono móvil.
  - **UPF (User Plane Function):** maneja el tráfico del plano de usuario, por ejemplo, enrutamiento y reenvío de tráfico, inspección de tráfico e informes de uso. Se puede implementar en varias configuraciones y ubicaciones según el tipo de servicio.
  - **DN (Data Network):** representa los servicios del operador, acceso a Internet o servicios de terceros.
- El plano de control consta de las siguientes funciones de red:
- **AMF (Access and Mobility Management Function):** realiza control de acceso, control de movilidad, proxy transparente para enrutar mensajes SM.
  - **AUSF (Authentication Server Function):** proporciona funciones de autenticación.
  - **UDM (Unified Data Management):** almacena datos y perfiles de suscriptores. Tiene una función equivalente a una base de datos que utilizará tanto para acceso fijo como móvil en el núcleo 5G.
  - **SMF (Session Management Function):** configura y administra la sesión de PDU de acuerdo con

la política de red.

- **NSSF (Network Slice Selection Function):** selecciona la instancia de segmento de red (NSI), determina la información de asistencia de selección de segmento de red permitida (NSSAI) y el conjunto de AMF para servir al UE.
- **NEF (Network Exposure Function):** expone los servicios y capacidades provistos por las funciones de red 3GPP.
- **NRF (NF Repository Function):** mantiene perfiles NF y admite el descubrimiento de servicios.
- **PCF (Policy Control Function):** proporciona un marco de políticas que incorpora la división de la red, la itinerancia y la gestión de la movilidad. y tiene un papel equivalente al PCRF en 4G.
- **AF (Función de aplicación):** interactúa con el 3GPP Core Network (CN) para proporcionar servicios.

Mientras el Proyecto de Asociación de 3ra Generación (3GPP) proporciona una definición más centrada en la red que establece que "los segmentos de red pueden diferir para las funciones compatibles y las optimizaciones de las funciones de red", la Asociación de Infraestructura Público Privada de 5G (5G PPP) adopta una visión orientada a negocio que exige que "el segmento de red sea una composición de funciones



de red configuradas adecuadamente, aplicaciones de red y la infraestructura de nube subyacente (recursos físicos, virtuales o incluso emulados, recursos RAN, etc.), que se agrupan para cumplir con los requisitos de un determinado caso de uso, por ejemplo, ancho de banda, latencia, procesamiento y resistencia, junto con un propósito comercial”.

En este documento usamos la definición de 5G PPP que permite el soporte de una variedad de dispositivos. Para obtener una red doméstica inalámbrica capaz de admitir una amplia gama de dispositivos, se adopta el concepto de división de red 5G para establecer un segmento de red doméstica inteligente.

### DIVISIÓN DE RED 5G PARA UN HOGAR INTELIGENTE

Para proporcionar una mejor red doméstica capaz de abordar una variedad de dispositivos con diferentes requisitos de QoS, se proponen tres segmentos de red 5G como se muestra en la figura 3.

#### Smart Home Security Slice

El sistema de seguridad inteli-

gente con todos sus componentes (cámaras, cerraduras, alarma, sensores de movimiento, etc.) tiene requisitos de seguridad más altos que otras aplicaciones y se establecerá un segmento de red de extremo a extremo dedicado y aislado. Para garantizar el aislamiento, el segmento de red del sistema de seguridad tendría sus propias funciones de red virtuales tanto para el acceso interno como para la red central. Contaría también con su propia instancia AUSF (Función del servidor de autenticación) que realiza la autenticación de los dispositivos antes de otorgar acceso al segmento.

#### eMBB Network Slice

En otro segmento, la red mejorada de banda ancha móvil (eMBB) proporciona conectividad a dispositivos con altas demandas de velocidad de datos, como teléfonos móviles, computadoras portátiles, tabletas, cámaras, etc. Vale la pena señalar que el acceso a esta red se puede incorporar a una suscripción total para suscripción tanto doméstica como móvil para miembros individuales o para todo el hogar.

#### Massive IoT Slice

El segmento de red de IoT masivo proporciona conectividad de baja velocidad de datos a dispositivos de baja potencia, como sensores diversos, por ejemplo, sensores de movimiento, sensores de proximidad, detectores de humo/gas, etc., o electrodomésticos como refrigeradores, cafeteras, lavadoras, etc.

### EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA

Para ejecutar y experimentar el corte inteligente de la red 5G doméstica propuesto en la sección anterior nos conectamos a una red 5G pública de pruebas. Dentro del alcance de este proyecto tuvimos acceso a un Baseband P614 de Ericsson donde llevamos a cabo división de red en segmentos o “Slices” basándonos en la contenedorización de funciones de red.

La contenedorización también llamada virtualización basada en contenedores y la contenedorización de aplicaciones es un método de virtualización a nivel de sistema operativo para implementar y ejecutar aplicaciones distribuidas sin lanzar una máquina virtual completa para cada aplicación. Múltiples sistemas aislados, llamados contenedores, se ejecutan en un único host de control, accediendo a un solo núcleo.

Como medio (R)AN utilizamos el Ericsson Radio Dot para dar acceso inalámbrico a todos los dispositivos en la red.

Durante este laboratorio logramos dividir la red 5g en 3 segmentos (slice), cada uno con diferentes prioridades y dando a cada uno los privilegios de seguridad y características según entendemos necesario. Fue difícil adquirir equipos que soportaran una

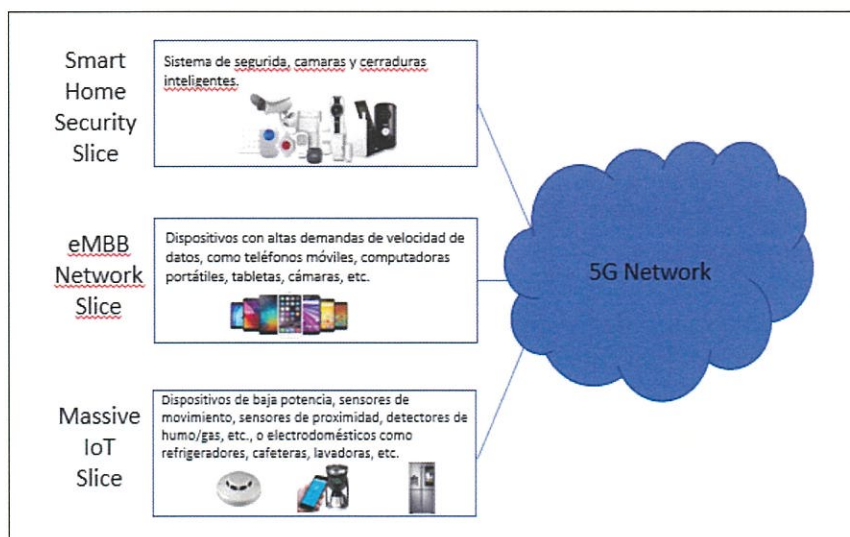


Figure 3. Propuesta de segmentos de una red 5G doméstica inteligente



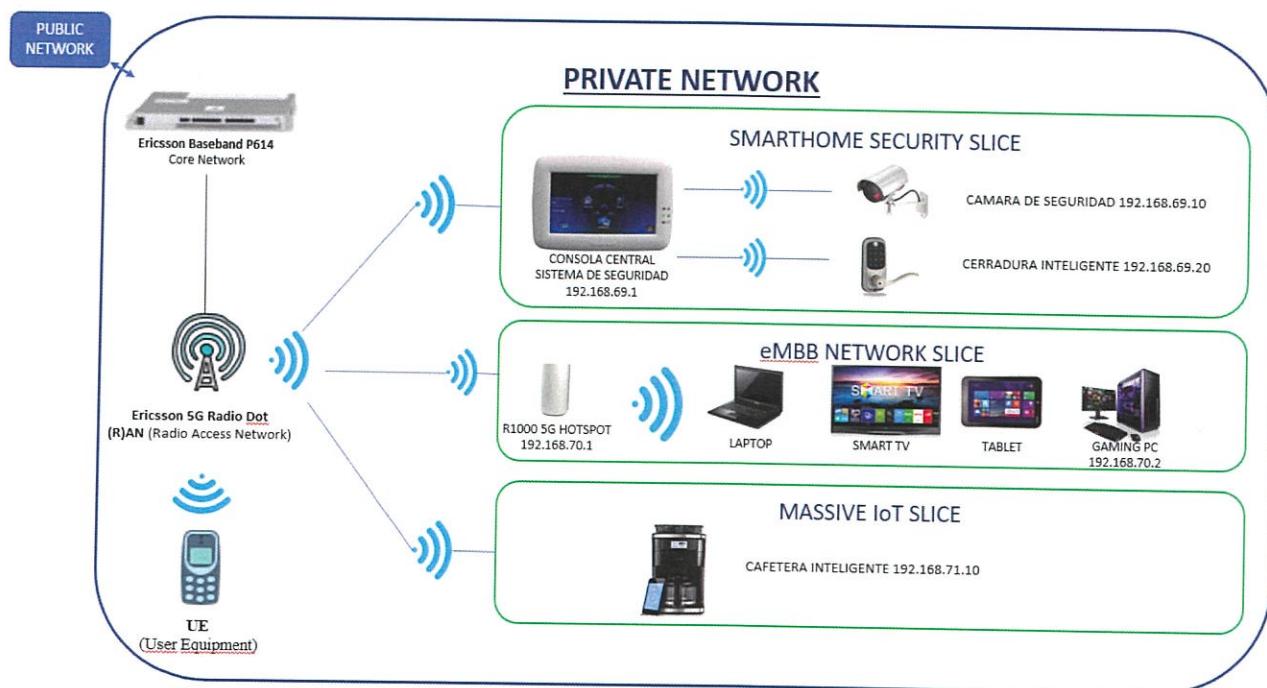


Figure 4. Esquema de la propuesta de segmentos en una red 5G doméstica implementada para pruebas

red 5g por temas de costos y accesibilidad, pero aun así tuvimos acceso al menos a un equipo para cada slice. Se logro integrar, administrar y manejar los equipos a los que pudimos tener acceso en cada slice sin inconveniente.

Como se muestra en la figura 4, cada Slice cuenta con los siguientes componentes:

#### SmartHome Security Slice

- Consola central del sistema de seguridad
- Cámara ip de seguridad
- Cerradura inteligente

#### eMBB Network Slice

- R1000 5g hotspot
- Laptop
- Smart TV
- Tablet
- Gaming PC

#### Massive IoT Slice

- Cafetera inteligente

## CONCLUSIÓN

5G significa una transformación

generacional que tendrá profundo impacto en las empresas y los consumidores en todo el mundo. Promete una experiencia revolucionaria con datos mucho más rápidos, tiempos más cortos de respuesta de red (menor latencia), acceso instantáneo en cualquier lugar y en todas partes y la capacidad para billones de dispositivos. No solamente estamos hablando de ser capaces de descargar más rápido un video a su teléfono móvil. A diferencia de 3G y 4G, 5G busca expandirse mucho más allá de nuestros dispositivos móviles y aplicaciones que están presentes en todas las facetas de nuestras vidas. Tendrá la capacidad de habilitar el IoT tanto a nivel doméstico para la comunicación y automatización de enseres y aplicaciones para el hogar hasta el nivel Industrial para la automatización y maximización de cadenas de producción o distribución. En resumen, 5G cambiará nuestras vidas de maneras que son difíciles de imaginar.

El organismo de estandarización

de 3GPP está avanzando activamente para definir 5G, pero el verdadero trabajo está apenas comenzando. Las compañías especializadas en tecnologías de equipos, infraestructura de red, nube, software, manufactura y pruebas, ahora deben diseñar, desarrollar, probar y distribuir soluciones que aprovechen estas nuevas capacidades inalámbricas. Esto no es una tarea fácil.

5G ofrece nuevas tecnologías que utilizan múltiples antenas y beamforming (ajustar las señales de radiofrecuencia enviadas y determinar cuál es el mejor camino que deberían tomar para alcanzar un dispositivo cliente) [6], lo que es una gran diferencia con las arquitecturas inalámbricas actuales y anteriores. 5G también incluye nuevos mecanismos de control inalámbricos que dividen el control y los datos para facilitar el concepto de segmentación de red, como se ha discutido en este artículo.

Además, los estándares propuestos para 5G son mucho más complejos que los estándares 3G y 4G. 5G transformará nuestras redes, por lo que la industria debe transformar la manera en que estos sistemas son diseñados, desarrollados y probados. Para probar los diseños propuestos, simplemente el modelado de sistemas sin ninguna validación del mundo real no ha sido suficiente para que una idea avance del concepto a la producción. Los métodos tradicionales que se enfocan en un componente individual no serán capaces de explicar el impacto en el sistema.

Las soluciones de pruebas y medidas serán clave en el ciclo de comercialización. Los sistemas de pruebas deben expandirse más allá de la capa física para probar de forma rápida y rentable estas nuevas tecnologías de múltiples antenas. Además, estos sistemas deben abordar los nuevos dispositivos con capacidad de onda milimétrica con anchos de banda extremadamente amplios. Estas soluciones de pruebas no solamente deben ser capaces de probar los parámetros importantes de un dispositivo, sino también ser rentables para que 5G alcance su potencial y una extensa adopción. En estos momentos varias compañías de telefonía En Puerto Rico ya están en las últimas fases de

su implementación y algunos entienden que para finales del 2020 compañías como Claro y T-Mobile tendrán redes 5G en la isla pero, aunque están bastante adelantados en la transformación y virtualización de su arquitectura, esto conlleva la instalación de miles de antenas (R)AN a nivel isla y en mi opinión no será hasta finales del 2021 que podremos disfrutar de una red 5g robusta y con amplia cobertura a nivel isla.

Este documento se centra en la división de una red 5g privada como base para un hogar inteligente, una de las aplicaciones de IoT más populares que tiene requisitos bastante diversificados y desafiantes en términos de rendimiento, seguridad, administración y costo. El documento identifica las limitaciones de las soluciones actuales de Smart Home que utilizan otras tecnologías inalámbricas y muestra cómo el concepto de corte de red puede abordar estas deficiencias. Hasta ahora, el piloto implementado sigue siendo bastante primitivo y se debe realizar una implementación más elaborada con más aplicaciones y dispositivos domésticos como trabajo adicional. Además, una prueba con usuarios reales sería bastante útil para recopilar comentarios que podrían usarse para ajustar los segmentos de la red. En términos de costos, por el momento resulta un poco costoso

debido a la poca variedad de equipos existentes para este propósito, pero esto mejorara en la medida que nuevos productos entren al mercado. Por otro lado, llevando este modelo a escalas industriales o comerciales como en egidas o asilos, podría ser muy práctico y representaría una gran economía tomando en cuenta todo el tiempo y dinero que conlleva el cableado de grandes edificios que se utilizan en la actualidad. Por último, pero no menos importante, se deben iniciar actividades para identificar oportunidades de negocio y derivar modelos de negocio para la promoción de 5G Smart Home.

Recalamos la importancia del desarrollo de este concepto debido a la necesidad y beneficios que nos brinda el acceso a distancia a enseres o equipos médicos para la atención de pacientes de manera remota tomando como ejemplo la situación actual mundial en que nos encontramos a raíz de la pandemia del COVID-19. El desarrollo de un Hogar inteligente con base en el corte de una red 5g sería una herramienta muy potente para para este cuidado médico sin la necesidad del contacto directo entre médico y paciente reforzando así las medidas de aislamiento social que son tan necesarias para controlar este mal.

## Referencias

- [1] M. Rouse, "X10 protocol", WhatIs.com, 16 de noviembre, 2017. [En línea]. Disponible: <https://whatis.techtarget.com/definition/X10-protocol>
- [2] Martín, "ZigBee", Build Your Smarthome, 17 de diciembre, 2018. [En línea]. Disponible: <https://buildyoursmarthome.co/home-automation/protocols/zigbee/>
- [3] O. Emmanuel, "Understanding Z-Wave protocol and its role in smart home automation solutions," Circuit Digest, 18 de febrero, 2020. [En línea]. Disponible: <https://circuitdigest.com/article/understanding-z-wave-protocol-and-its-role-in-home-automation>
- [4] ITA Terms, "Description data-over-cable service interface specifications (DOCSIS) Complete description", Cisco Community, 1 de marzo, 2019. [En línea]. Disponible: <https://community.cisco.com/t5/networking-documents/docsis/ta-p/3115673>
- [5] M. Satran, "About dynamic host configuration protocol", Microsoft Docs, 31 de mayo, 2018. [En línea]. <https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/desktop/dhcp/about-dynamic-host-configuration-protocol>
- [6] "5G architecture", Viavi. [En línea]. Disponible: <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture>