




Coexistence Study for the 2300-2400MHz IMT band in Colombia

Andres Navarro , Senior Member, IEEE, Leonardo Vargas , Nicolas Salazar , Alfredo Serna-Sabater , and Jose Maria Molina-Garcia-Pardo 

Abstract— The deployment of 5G services varies across the globe, in Europe, Asia, and North America have seen the most significant deployment, while some Latin American countries are still in the process. This review examines the regulations related to radio frequency bands and analyzes ways to optimize radio space in the 2300-2400 MHz band in Colombia. The findings and recommendations serve as a reference for similar countries in Latin America. Based on the results, it is recommended to maintain a minimum distance of 100 meters between IMT base stations and Bluetooth and ZigBee systems. For WiFi, it is advisable to use channels higher than 5 or ensure a separation of at least 1 kilometer. Indoors, no special attention is required due to wall attenuation. A separation of around 5 MHz is necessary between the two bands in laboratory tests. This ensures that the interference effects of IMT towards WiFi or vice versa stay within the acceptable limits of PER. The guard band should be established with respect to the LTE signal, which is the most restrictive case, and serves as the reference signal. In connection with band 40 of LTE, the guard band will be 0.6 MHz and 0.8 MHz with respect to the WLAN signal.

Link to graphical and video abstracts, and to code: <https://latam.ieceer9.org/index.php/transactions/article/view/9108>

Index Terms— Spectrum Management, Coexistence, IMT, WiFi, Radio Regulations, Interference analysis

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los servicios móviles han crecido de manera significativa y en la actualidad nos encontramos desplegando servicios de quinta generación (5G). Estos servicios se han desplegado principalmente en Europa y Norte América, y algunos países de América Latina están en ese proceso. Este crecimiento ha llevado a una presión cada vez mayor por nuevas bandas de espectro, tanto para aumentar la capacidad de las redes, como para aumentar la cobertura, principalmente en áreas rurales. Una de las bandas que han sido

The associate editor coordinating the review of this manuscript and approving it for publication was Roberto S. Murphy (*Corresponding author: Andres Navarro*).

A. Navarro, L. Vargas, y N. Salazar están con la Universidad Icesi, Cali, Colombia (e-mails: anavarro@icesi.edu.co, leonardo.vargas1@icesi.edu.co, y njse22@gmail.com).

A. Serna-Sabater y J. M. M. García-Pardo están con la Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia (e-mails: alfredo.serna@edu.upct.es, y JoseMaria.Molina@upct.es).

¹ <https://extendmax.vn/vietnam-mic-opening-auctions-for-2300-2400mhz-5g-nr-band>

atribuidas para servicios móviles, es la de 2300MHz a 2400MHz, que es de uso común principalmente en los países asiáticos y está atribuida en la región 2, que corresponde a América.

Tal y como recoge el “Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, 2022” de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) de Colombia, los usos para los que está destinada la banda de 2300 a 2400 MHz en la Región 2 y, en concreto en Colombia, son para comunicaciones fijas, móviles y radioaficionados. En este trabajo se presenta una revisión de normativas relativas a estas bandas de radiofrecuencia, así como un análisis de estas para optimizar el espectro radioeléctrico (Sección 2), determinando las condiciones de coexistencia con las tecnologías que operan en las bandas adyacentes. En la sección 3 se estudiarán los materiales y software empleados, además de la metodología empleada en las experiencias de laboratorio. Posteriormente se presentarán los resultados en la sección 4, exponiendo los valores obtenidos a través de simulaciones, así como las medidas recogidas en los diferentes casos de interferencia y comparando los resultados con normativa existente. Finalmente se presentan unas conclusiones en la sección 5, realizando una valoración de los casos más restrictivos para ser tenidos en cuenta a la hora de realizar despliegues de estas tecnologías en casos futuros.

II. REGULACIÓN Y MOTIVACIÓN

La banda de 2300 MHz para IMT fue atribuida por primera vez en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2007 (CMR-07) [1], nota internacional 5.384A. Sin embargo, es en la CMR-15 [2], que modifica la nota 5.384A, cuando queda habilitada la banda para la componente terrenal de las IMT, y se incorpora en la Recomendación UIT-R M.1036 [3]. Si bien su mayor uso proviene de países asiáticos, correspondientes a la Región 3 (Asia-Pacífico) en países como China, Malasia, Australia y Corea del Sur, donde se presta servicio 4G en esta banda, actualmente han empezado a desplegar redes tanto 4G como 5G en la banda de 2300 MHz, países como Suecia y Kirguistán, entre otros, en el 2021 y se espera que alrededor de 54 operadores desplieguen LTE en esta banda [4], siendo el más reciente Vietnam, que realizó la subasta en mayo 2023¹, sin que se recibieran ofertas de operadores². De acuerdo al más reciente reporte de GSMA Intelligence, no hay datos recientes de despliegue en la banda[5]. En Colombia, como queda recogido en el CNABF en

² <https://vietnamnet.vn/en/no-network-carriers-participate-in-auction-of-4g-5g-frequencies-2151667.html>

la nota nacional CML 21[6] se reservan las bandas de 452.5 MHz a 457.5 MHz, 2300 MHz a 2400 MHz y 3300 MHz a 3700 MHz para la futura operación de las IMT.

Dado que la banda de 2400 a 2483.5MHz es destinada a tecnologías de uso libre, como WiFi, Zigbee o Bluetooth, el despliegue de redes IMT en la banda de 2300 a 2400MHz puede generar interferencias en dichas redes, o, al contrario, los sistemas de banda libre generar interferencia hacia IMT. Por esta razón, la Agencia Nacional del Espectro (ANE) en Colombia encargó un estudio de convivencia entre la banda de 2300 a 2400 MHz para uso de tecnologías IMT y la banda contigua (2400 a 2483.5MHz) con el fin de determinar las condiciones de operación sin interferencia perjudicial en el territorio colombiano. Aunque la mayoría de los países que pertenecen a la región 2 de ITU-R (Américas) han adoptado la banda de 2300 a 2400MHz para IMT, pocos países han iniciado operaciones en dicha banda. Según GSMA[7], al menos un operador ha iniciado despliegue de 5G en la banda de 2300MHz para el primer trimestre de 2021. Para redes LTE, Suecia asignó la banda de 2300MHz en enero de 2021, y Kirguistán lo hizo en marzo de 2021, y se espera que unos 54 operadores hagan lanzamientos de 4G en esta banda para 2023 y 2024. De acuerdo con HBR, hay operadores en la banda de 2300 MHz en Australia, Canadá (Telus), China, Nueva Zelanda, Filipinas, entre otros. En la Región 2, solo se registra uso de la banda en Canadá. La mayor cantidad de operadores se encuentra en la región de Asia Pacífico[8]. En América latina, algunos países han publicado información sobre posible asignación de la banda (aparte de Colombia), en diversos documentos regulatorios. En el caso de Argentina, se publicó en 2020 un informe de consulta pública que menciona la posible asignación para 5G hacia el año 2025. El IFT de México publicó en marzo de 2019 un documento sobre el panorama del espectro radioeléctrico para 5G[9], pero dicho documento no hace referencia a la banda de 2300 MHz, por lo que no es claro el uso de dicha banda en este país en la actualidad, aunque el CNAF de México atribuye la banda 2300-2400 MHz para IMT. Costa Rica publicó en el mes de mayo de 2021 un documento de licitación para definir los mecanismos de sincronización de redes TDD, incluyendo la banda de 2300 MHz (Licitación 2021LI-000001-0014900001). Brasil tiene atribuida la banda desde 2018, de acuerdo a un documento de consulta pública del regulador ANATEL³.

A. Antecedentes de Estudios de Convivencia en la Banda y Aportes del Proyecto

Tal vez el documento más completo en términos de estudios de convivencia en el uso de la banda de 2300MHz con la banda de 2400MHz de uso libre, se encuentra en el Reporte 172 del ECC [2, p. 17]. Dicho reporte analiza escenarios de convivencia y escenarios en la banda adyacente. El reporte incluye escenarios de coordinación de fronteras para la banda. El reporte hace referencia a la tecnología LTE y al momento de escribir este artículo no se ha encontrado una versión actualizada para 5G. En el caso de los escenarios de compartición dentro de la banda, se asume que no se usa banda

de guarda, por lo que el reporte recomienda hacer coordinación entre operadores, el uso de filtros adicionales y la sincronización de redes que operen en canales adyacentes. El reporte incluye el análisis de varias tecnologías que operan en la banda 2300 a 2400MHz. Los resultados y análisis reportados en el reporte ECC se basan en el uso de la herramienta SEAMCAT, que se basa en simulaciones de Montecarlo para análisis de convivencia de espectro y es la herramienta estándar en la Unión Europea para este tipo de estudios.

Por parte del regulador brasileño, en la consulta pública ya mencionada, especifica una banda de guarda de 10 MHz con el segmento de 2400 MHz a 2483.5 MHz utilizado para *WiFi* y otras tecnologías de bandas libres. En los países como Estados Unidos y Canadá, donde la banda está asignada para servicios de acceso fijo inalámbrico, están en uso solo algunos segmentos, por lo que no se ha asignado para IMT a la fecha de escribir este artículo.

En la literatura existen algunos estudios de coexistencia en la banda de 2300 a 2400 MHz, como el caso de [10], [11] que analizan el caso de LTE y TD-SCMA coexistiendo con radares en la misma banda a través de simulaciones, determinando una posible banda de guarda para la coexistencia. En el caso del estudio presentado en [12] se analiza el caso específico entre sistema LTE TDD en la banda 2300 MHz a 2400 MHz con sistemas WiFi en el rango 2400 MHz a 2500 MHz, donde se implementa un escenario de laboratorio con una señal LTE sintética que interfiere dispositivos WiFi comerciales y se muestran las curvas de resultados para cada escenario implementado en términos de la tasa de transmisión de WiFi contra la relación I/C (Interferencia sobre señal útil). El artículo de [13] analiza la coexistencia de redes privadas LTE y 5G en la banda de 2300 a 2400 MHz que operan adyacentes, basados en la asignación hecha por el regulador finlandés en 2021. El estudio se hace mediante un montaje de laboratorio con dos estaciones base adyacentes y co-canal, analizando el efecto del mecanismo de sincronización de la red sobre la coexistencia. En [14] se estudia el caso del uso compartido bajo el concepto de *Licensed Shared Access* (LSA) definido en la regulación europea desde 2015, entre sistemas LTE y equipos de video PMSE (*Programme making and special events*). El artículo muestra un escenario de pruebas en entorno real, para determinar los mecanismos de protección de los equipos de video inalámbricos interferidos por la red LTE. En el trabajo presentado en [15] se analiza la ocupación de la banda en una ciudad finlandesa, con el fin de establecer la complejidad de la coexistencia entre diversas tecnologías que operan bajo el concepto de LSA. Otros trabajos como [16], [17], [18] exploran el concepto de *Licensed Shared Access* en la banda de 2300 MHz y hacen estudios de coexistencia entre sistemas LTE compartiendo la banda.

Como se ha visto en los párrafos anteriores, existen pocos estudios de convivencia entre tecnologías IMT en la banda 2300 MHz a 2400 MHz y la banda adyacente, utilizada principalmente para WiFi y para otras tecnologías como

³<https://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodigoProcesso=C2144&Tipo=1&Opcao=andamento>

Bluetooth y ZigBee, por mencionar algunas. Este trabajo se centra en aportar elementos cuantitativos al análisis de coexistencia entre sistemas IMT en la banda de 2300 a 2400 MHz, que le permitan al regulador colombiano, y a otros reguladores establecer bandas de guarda y distancias de protección al momento de asignar licencias IMT en la banda.

B. Motivación y Escenarios de Análisis

El regulador de espectro de Colombia, ANE (Agencia Nacional del Espectro) está interesado en la posible asignación de la banda IMT de 2300 a 2400 MHz, ya que esta banda ha mostrado ser de interés para acceso a Internet inalámbrico de banda ancha en países de Asia-Pacífico y se encuentra una oferta importante de equipos de usuario y de red. Dado que la banda es adyacente a la banda ISM ampliamente utilizada por tecnologías como Wifi, Bluetooth y ZigBee, entre otras, es de interés del regulador conocer las bandas de guarda y las posibles distancias de protección que se deben adoptar al asignar esta banda, de forma que no se generen interferencias perjudiciales entre las dos bandas adyacentes. Además de analizar las atribuciones existentes en otros países y los estudios ya realizados en esta banda, se buscaba tener información directa basada en simulaciones y estudios de laboratorio, que le permitan a la ANE tomar decisiones informadas acerca de la posible asignación y canalización de la banda. Los escenarios de análisis utilizados para este artículo buscan establecer en qué condiciones se puede producir interferencia perjudicial entre los equipos en las bandas de estudio. Por ello, se definen dos grandes casos a saber:

1) Dispositivo IMT interfiriendo dispositivo WLAN: En este caso se analizan tanto el escenario en que una estación base (BS) IMT interfiere a un dispositivo WiFi, como un terminal IMT (UE) interfiriendo a un dispositivo WiFi. Dado que la banda de 2300 a 2400MHz está planteada para uso en modo TDD, la única diferencia fundamental es la potencia de los dispositivos interferentes (la estación base radia con mucha más potencia que el terminal de usuario).

2) Dispositivo WLAN interfiriendo dispositivo IMT: En este escenario, los dispositivos en la banda de 2400MHz de uso libre interfieren equipos IMT, tanto terminal de usuario (UE) como estación base (BS).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para los análisis de interferencia se utilizaron simulaciones con la herramienta SEAMCAT para los diferentes escenarios, así como pruebas de laboratorio con equipos de medidas en una cámara anecoica, tal como indica la Fig 1.

A. Materiales

1) Hardware: Para las pruebas de laboratorio, se utilizaron los equipos listados a continuación:

- **R&S CMW500.** Analizador de comunicaciones. En este caso, el equipo se utiliza para generar una señalización de WLAN y LTE cuando estas sean señales útiles y formas de onda arbitrarias de estas tecnologías en los casos en las que actúen como señales interferentes. En resumen, el equipo se

utiliza para generar tanto la señal útil como la interferente y opera en conjunto con la tarjeta SIM descrita más adelante.

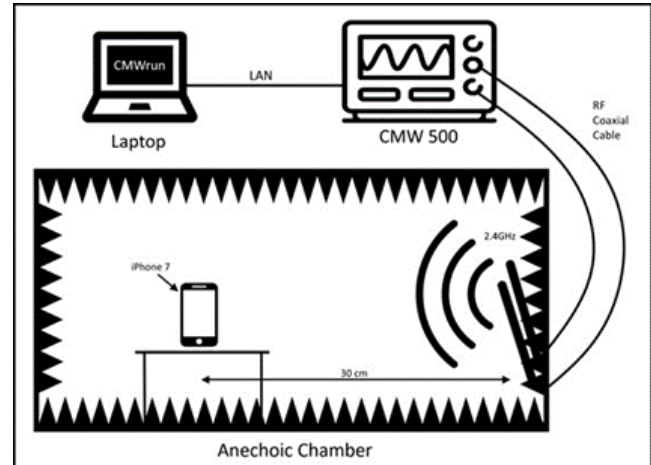


Fig. 1. Montaje Laboratorio con cámara anecoica y conexión de equipos.

- **Antenas de 2,4 GHz.** Se usan dos (2) antenas omnidireccionales que operan a frecuencias alrededor de 2.4 GHz, una es para enviar la señal útil y la otra es para generar una señal interferente. Se utiliza una tercera antena que se conecta al analizador de espectros.

- **Cámara Anecoica.** Marca Voyantic, con material absorbente piramidal y una reflectividad de menos de -16dB a partir de los 800MHz, y unas dimensiones de 110cm x 75 cm x 25 cm. Tiene dos conectores tipo N de entrada a través de las cuales se accede al interior.

- **Portátil Lenovo ThinkPad L380 20M5.** A través de este computador portátil se usan todas las herramientas de software necesarias, útiles para generación de las señales y monitorización de las medidas.

- **Dispositivos Móviles.** Se dispone de varios terminales de usuario que podían servir para las pruebas, como son el Xiaomi Note Pad 5, el Samsung Galaxy 3 y el iPhone 7. Se decidió utilizar el iPhone y el Xiaomi para hacer las mediciones y se obtuvieron los mismos resultados con ambos terminales.

- **SIM R&S.** La SIM de Rohde & Schwarz facilita el dialogo LTE entre el DUT (*Device Under Test*) y el CMW500. Está configurado para reconocer y comunicarse con la SIM. De esta forma se asegura el correcto funcionamiento de las telecomunicaciones en la cámara anecoica.

- **R&S Vector Network Analyzer.** Analizador de redes vectoriales usado para la calibración del *tester* de radio-comunicaciones CMW500.

2) Software:

- **CMWrun.** Aplicación del fabricante Rohde&Schwarz, que permite programar el equipo CMW500 y capturar la información de las medidas tanto de LTE como de WiFi de forma automatizada..

- **MATLAB R2020b.** Con esta herramienta se generaron las señales correspondientes a las diferentes tecnologías, que luego se inyectaron al equipo CMW500.

Adicionalmente, se hizo uso del software SEAMCAT[19], para la ejecución de las simulaciones de los diferentes

escenarios, de forma que se puede contrastar los resultados que genera la simulación con las medidas de laboratorio.

SEAMCAT es una herramienta de simulación estadística basada en el método de simulación de Monte Carlo, que ha sido desarrollada dentro del grupo de trabajo WGSE (*Working Group Spectrum Engineering*) del CEPT. Esta herramienta permite el modelado estadístico de diferentes escenarios de compartición y compatibilidad entre sistemas de radiocomunicaciones en la misma frecuencia o en bandas adyacentes. La herramienta permite abordar escenarios de interferencias complejos en los que los métodos analíticos tradicionales no pueden ofrecer ninguna solución satisfactoria.

SEAMCAT hace uso de los cálculos de interferencia [20], [21] en canal adyacente para cada momento de la simulación, cuantificadas por un parámetro denominado valor de relación de interferencia en canal adyacente ($ACIR_{ACLR_ACS}$), el cual tiene en cuenta tanto la relación de fuga en el dominio fuera de banda del transmisor interferente ($ACLR$), como la selectividad en canal adyacente del receptor víctima (ACS), que permite medir la capacidad de un receptor para recibir una señal en su canal de frecuencias asignado con una señal modulada en un canal adyacente, y la emisión fuera de banda (OOB) dada por la máscara de emisión.

El ACS (*Adjacent Channel Selectivity*) se calcula como:

$$ACS(\Delta f) = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{MP_0 - MP}{10}} - 10^{-\frac{ACLR}{10}} \right) \quad (1)$$

Donde MP_0 y MP son el margen de protección Co-canal y el Margen de protección requerido, respectivamente. Para calcular el valor de $ACIR$ (*Adjacent Channel Interference Power Ratio*) en dB se aplica la siguiente ecuación:

$$ACIR_{ACLR_ACS} = 10 * \log_{10} \left(10^{\frac{ACLR}{10}} + 10^{\frac{ACS}{10}} \right) \quad (2)$$

El ACLR (*Adjacent Channel Leakage Ratio*) se calcula como:

$$ACLR(\Delta f) = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{MP_0 - MP}{10}} - 10^{-\frac{ACS_{tot}}{10}} \right) \quad (3)$$

Finalmente, se puede obtener el límite fuera de banda como:

$$OoB_{max} = PIRE - ACLR \quad (4)$$

De acuerdo con la Recomendación UIT-R M.2101-0, la interferencia fuera de banda de las emisiones fuera de banda (OoB) también se pueden calcular como:

$$P_{Tx}^{spurious} = P_{Tx} - ACLR_{equiv} \quad (5)$$

siendo:

$$\begin{aligned} P_{Tx} \text{ (dBm):} & \quad \text{la potencia de salida del transmisor} \\ & \quad \text{interferente} \\ ACLR \text{ (dB):} & \quad \text{Adjacent Channel Leakage Ratio, la} \end{aligned}$$

relación de potencia de fuga en el canal adyacente, que es la relación entre la potencia media filtrada (integrada a lo largo de el ancho de banda del canal asignado) centrada en la frecuencia del canal asignado y la potencia media filtrada (integrada a lo largo del ancho de banda del canal adyacente) centrada en la frecuencia de un canal adyacente.

Finalmente, la interferencia de bloqueo ($P_{blocking}$) se calcula como:

$$P_{blocking} = P_{rx} - ACS \text{ dB} \quad (6)$$

siendo:

$$\begin{aligned} P_{rx} \text{ (dBm):} & \quad \text{la potencia media de la señal} \\ & \quad \text{interferente en el receptor} \\ ACS \text{ (dB):} & \quad \text{la selectividad del canal adyacente.} \end{aligned}$$

En el caso de los sistemas basados en OFDMA, como LTE, los cálculos se hacen para cada usuario activo en la celda, de forma iterativa y se sumen los aportes de interferencia de cada usuario, que se traduce en pérdida de capacidad o reducción de tasa de bits, que es proporcional a la interferencia recibida. En general, SEAMCAT calcula la relación Portadora a Interferencia (C/I) para cada escenario, de forma que se calcula la probabilidad de que la C/I, que resulta de la relación entre dRSS (*desired Received Signal Strength*) menos la iRSS (*Interfering Received Signal Strength*). Si la C/I es menor que la relación señal a ruido (S/N o SNR), entonces la interferencia no es tolerable. El valor de probabilidad de interferencia que se muestra en la Tabla III indica la probabilidad de que suceda el escenario de C/I menos que S/N [21, sección 1.4.2].

B. Métodos

En primer lugar, se realizó la calibración del CMW500 a razón de compensar las pérdidas del sistema. LTE comparte banda con diversas tecnologías, WLAN, Zigbee y Bluetooth. En estudios previos se comprobó que la tecnología más restrictiva es WLAN. El esquema de laboratorio en la cámara anecoica consta de dos antenas omnidireccionales colocadas contra una de las paredes de la cámara anecoica y conectadas a través de los puertos de salida al CMW500, transmitiendo la señal útil e interferente. En el centro de la cámara anecoica, sobre una plataforma, se coloca el DUT (*Device Under Test*), el cual es un dispositivo móvil, aproximadamente a 30 cm de las antenas. El dispositivo de R&S se conecta a través de un cable ethernet a un portátil, el cual contiene el software CMWRun, permitiendo automatizar las medidas a través de comandos SCPI, se comunican estos dispositivos a través del standard VISA. En la Fig 1 se muestra la representación del montaje.

1) Caso WLAN Útil, LTE interferente: Para cada uno de los sub-casos, el CMW500 hará de estación base WLAN por uno de sus puertos para establecer un dialogo con un dispositivo un barrido en potencia de la señal de WLAN, disminuyendo la móvil, por otro generará una señal LTE mediante un fichero ARB.

La señal de WLAN estará fija en frecuencia, 2.412 GHz La señal interferente partirá desde la frecuencia más alta de la banda

40 de LTE (2300-2400 MHz) y se irá aproximando a la señal útil; esto se realizará en saltos de frecuencia de 1 MHz. La señal de WLAN será de 20 MHz de ancho de banda y las modulaciones utilizadas serán QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) y 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, nivel 64). Se interferirá con señales LTE de 10 MHz y 20 MHz de ancho de banda. Por cada una de las frecuencias centrales de la señal de 4G se hará sensibilidad del receptor, desde -52 dBm hasta que se produzca una desconexión en el dialogo LTE debido a la interferencia. Los casos en los que se empezaría a obtener solapamiento espectral entre las dos señales se muestran en la Fig 2 y en la Fig 3, para los distintos anchos de banda de la señal interferente. El parámetro utilizado para evaluar la calidad de la conexión WLAN entre el dispositivo móvil y la estación base será el PER (*Packer Error Ratio*).

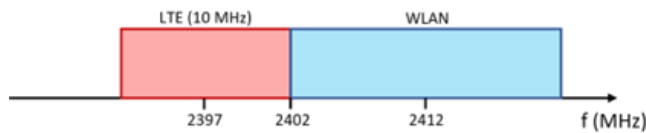


Fig. 2. Solapamiento con portadora IMT de 10MHz.

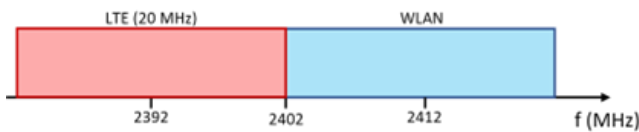


Fig. 3. Solapamiento con portadora IMT de 20MHz.

Para todos los casos, se hace una calibración inicial del sistema de medida, aumentando la intensidad de la señal en un entorno sin interferencia, con el fin de establecer los valores de PER según la intensidad de la señal y poder contrastar los resultados cuando se active la señal interferente. Las mediciones se realizan para las dos modulaciones extremas del sistema WLAN, QPSK y 64QAM. La Fig 4 muestra la gráfica de nivel de señal contra PER para la modulación QPSK y la figura 5 muestra la gráfica de nivel de señal contra PER para la modulación 64QAM

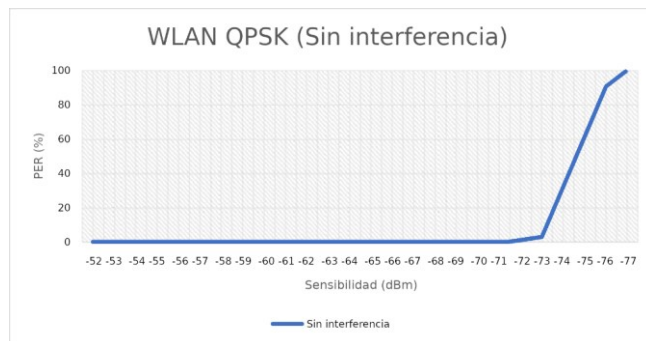


Fig. 4. Nivel de señal contra PER para QPSK sin Interferencia.

Con este procedimiento se establecen los niveles umbral de señal que requiere el sistema en condiciones sin interferencia y será posible a partir de allí determinar el efecto de la

interferencia sobre el umbral de la señal.

2) Caso LTE Útil, WLAN interferente: Se realizan las mismas pruebas con una señal LTE útil, es decir, el CMW500 actuará como una estación base LTE. La señal interferente será WLAN (generada mediante un fichero ARB), la cual estará fija a 2.412 GHz y emitirá a la máxima potencia. La señal de LTE será de 10 MHz y 20 MHz de ancho de banda, y las modulaciones del enlace ascendente serán QPSK y 64 QAM mientras que las del enlace descendente serán QPSK y 16 QAM. El barrido de frecuencias partirá desde la banda 40, sin embargo, los saltos de frecuencias serán de 0.1 MHz, y por cada una de las frecuencias se disminuirá la potencia de salida de la señal útil (*DL Output Power*), partiendo desde -75 dBm hasta un nivel de potencia en el que el porcentaje de los bloques erróneos sea del 100%, esto se medirá gracias al BLER (*Block Error Rate*). La señal de WLAN será de 20 MHz. En este caso se realizó un procedimiento similar para determinar el nivel de señal libre de interferencia requerido para el terminal de prueba, tal como se muestra en la Fig 6.

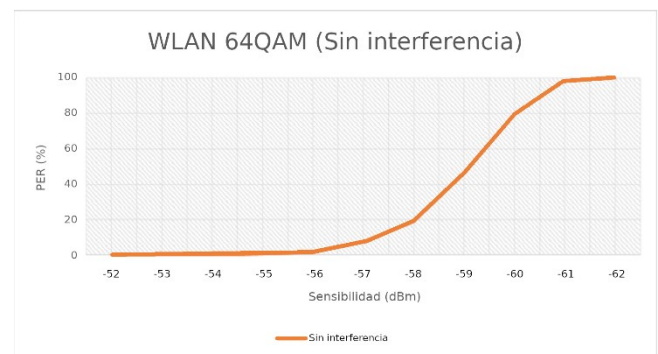


Fig. 5. Nivel de señal contra PER para 64QAM sin Interferencia.

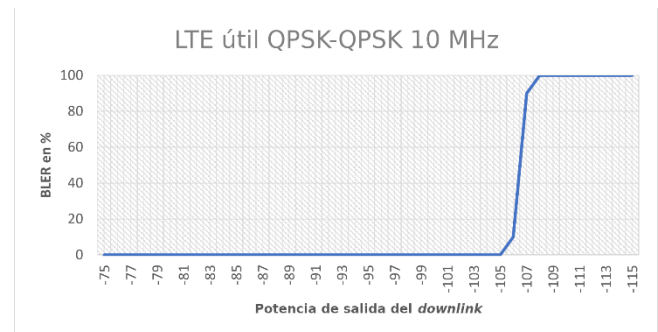


Fig. 6. Nivel de señal contra BLER para LTE QPSK sin Interferencia.

IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados tanto de las simulaciones realizadas con SEMCAT, como del escenario de laboratorio. Las simulaciones permiten analizar escenarios cercanos a la realidad, y analizar el comportamiento de los sistemas a medida que se separan en distancia, o con casos que no es posible reproducir en la cámara anecoica. Los resultados de laboratorio se enfocan principalmente en la separación de frecuencia (banda de guarda), ya que, por las condiciones de la cámara anecoica usada, la distancia entre interferente y víctima se deja fija.

A. Simulaciones SEAMCAT

Se realizaron simulaciones de diferentes escenarios, usando la herramienta SEAMCAT, incluyendo no solamente sistemas WiFi, sino otras tecnologías que operan en la banda de 2400 a 2483.5MHz, como son Bluetooth y ZigBee, que no fue posible verificar en laboratorio. Para el sistema, se definieron parámetros de simulación para WiFi y para IMT, así como las máscaras de emisión y recepción, de acuerdo con los documentos de los estándares respectivos. Los parámetros de simulación para WiFi se muestran en la Tabla I. SEAMCAT utiliza dos tipos de escenarios, genérico e IMT. El escenario genérico permite evaluar la probabilidad de interferencia de acuerdo con un criterio, que para este estudio es la relación portadora a interferencia C/I. Los resultados se entregan en función de la probabilidad de interferencia perjudicial y bloqueada, calculada a partir de los diferentes eventos aleatorios. El escenario IMT permite definir parámetros más complejos, como la distribución de la celda y asignar probabilidades y potencias dinámicas de transmisión a los equipos de usuario. Sus resultados se entregan en función del porcentaje de pérdida de *bit-rate*.

Es posible restringir ambos tipos de escenarios en frecuencia o distancia, de tal forma que los eventos se generen aleatoriamente, pero con restricciones que permiten evaluar los casos extremos, o escenarios que no es posible reproducir en laboratorio y son más cercanos a la realidad. Por ejemplo, es posible fijar la distancia mínima entre la víctima y el centro del área en el que se distribuyen los interferentes, establecer el número de transmisores activos en la estación base, o explorar únicamente víctimas en el borde de la celda. La tabla II muestra los parámetros de simulación empleados para las diferentes configuraciones de IMT. Los escenarios analizados son comparables a las pruebas de laboratorio en términos de anchos de banda utilizados y modulaciones, de forma que los resultados sean comparables.

1) *Simulaciones con una estación base (BS) LTE y 5G de 10MHz de ancho de banda interfiriendo WiFi:* Para el caso en que la estación base IMT interfiere al sistema WiFi, se diseñaron escenarios con un interferente LTE de rango medio y 10 MHz de ancho de banda, posicionando la víctima en los canales 1 y 5 y variando la distancia.

TABLA I
TABLA DE PARÁMETROS WiFi

802.11g/n		QPSK	64-QAM
Transmisor	Unidad		
Potencia	dBm	20	
Altura	m	10	
Antena		Omni	
Ganancia	dBi	11	
Receptor			
Altura	m	1.5	
Antena		Omni	
Ganancia	dBi	2	
Ancho de banda	MHz	20	
Ruido térmico	dBm	-101	
Figura de ruido	dB	10	
Piso de ruido	dBm	-92.07	
Sensibilidad	dBm	-79	-65
Criterios de interferencia			
C/I	dB	14.83	28.83
C/(N+I)	dB	13.07	27.07
(N+I)/N	dB	4.76	

I/N	dB	3
Posicionamiento		
Radio de cobertura del modelo	km	0.07

Se exploraron dos escenarios de peor caso muy poco probables: la estación base alrededor del sistema WiFi (a) y entre 0 y 200m de distancia (b). Luego se alejó el interferente 100m (c), 500m (d) y 700m (e). Finalmente se posicionó el interferente en un radio de 1km alrededor del sistema víctima (f), para obtener resultados estadísticos. La tabla III muestra los resultados del escenario planteado.

Se exploró un escenario de peor caso en el que los equipos interferentes se distribuyen en los 100m de incidencia del sistema víctima usando un escenario genérico de SEAMCAT, en donde los equipos transmiten a la potencia máxima establecida (Subcaso a1). Luego se usó un sistema realista basado en el escenario IMT de SEAMCAT, en donde los equipos interferentes transmiten con potencias entre -40 y 23 dB, distribuidos en los mismos 100m (Subcaso b1). Finalmente se usó un escenario muy similar al de peor caso, agregando las pérdidas en entorno urbano que el modelo de propagación de espacio libre no logra calcular (Subcaso c1). El mayor valor obtenido de interferencia no deseada es del 9.3% para el subcaso a1 con una modulación 64-QAM, la cual se considera baja en el entorno de SEAMCAT, teniendo en cuenta que es un mecanismo de tipo Montecarlo, que genera múltiples interferentes. El valor de interferencia combinada indica una probabilidad de interferencia perjudicial en un escenario de peor caso, que se incluye como prueba ácida en la simulación.

De los resultados, mostrados en la tabla IV, se evidencia que no existe interferencia perjudicial entre los equipos de usuario IMT y los sistemas WiFi

B. Mediciones de Laboratorio con LTE Interferente

1) *Mediciones con señal LTE de 10MHz de ancho de banda:* En la figura 7 y en la figura 8 se muestran los resultados de la señal IMT interfiriendo al sistema WLAN. Hasta una frecuencia de 2398MHz, la curva es muy similar al caso libre de interferencia, pero a partir de los 2399MHz el nivel de errores aumenta significativamente, como muestra la línea verde de la figura 7. Para el ancho de banda utilizado en el sistema IMT, el solapamiento empieza cuando la frecuencia central del sistema IMT es de 2397MHz.

Para el caso de la modulación 64QAM, la frecuencia a la que el PER aumenta es la misma, pero se evidencia una mayor degradación de la señal, tal como indica línea más oscura, correspondiente a la frecuencia 2.399 GHz, de la Fig 8.

2) *Mediciones con señal LTE de 20MHz de ancho de banda:* Para la portadora de 20MHz del sistema IMT LTE, el comportamiento es similar al observado con 10MHz. En este caso, el solapamiento se empieza a producir con una portadora de 2392 MHz, pero es a los 2395 MHz que se da el aumento notable del PER. Esto se puede observar en la Fig 9 para la modulación QPSK, y en la figura 10 para la modulación QAM.

TABLA II
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Estación Base (BS) Canal	Unidad	LTE 10 MHz		5G NR 10 MHz	
		Amplio	Medio	Amplio	Medio
Ancho de banda del sistema	MHz	10		10	
Máx. RBs por BS		50		52	
Ancho de banda de RB	kHz	200		200	
RBs por móvil		50		52	
Modelo de propagación		Ext. Hata P.1411-9			
Radio de la celda	km	10	5	10	5
Antena					
Azimut	deg	0		0	
Elevación	deg	-10		-10	
Antena		3GPP TR 25.942 (65 deg)			
Ganancia de pico	dBi	17		17	
Elevación	deg	-10		-10	
Altura	m	30	15	30	15
Transmisor					
Potencia transmisora	dBm	43	38	43	38
Rango dinámico de la potencia	dB	16.0		17.1	
Límite ACLR	dBm/MHz	-13	-25	-13	-25
Límite de las emisiones espúreas de la BS	dBm			-13	
Límites de la protección de la BS	dBm	-96	-91	-96	-91
Receptor					
Figura de Ruido	dB			5	
Pérdidas de acoplamiento mínimas	dB			70	
Margen de handover	dB			3.1	
ACS. Potencia señal media deseada	dBm	-95.5	-90.5	-95.7	-90.7
ACS. Potencia señal media interferente	dBm	-52	-47	-52	-47
Bloqueo. -11 to +20 MHz for band 71. -20 to +20 MHz for 40	dBm	-43		-38	
Densificación estándar	dB			8	
I/N Objetivo	dB			-6	
Nivel de sensibilidad de potencia de PREFSENS	dBm	-101.5	-96.5	-101.7	-96.7
Margen dinámico. Señal deseada	dBm	-70.2	-62.2; -65.3	-70.7	-65.7
Margen dinámico. Señal interferente (AWGN)	dBm	-79.5	-71.5	-79.3	-74.3
Selectividad In-channel. Señal deseada	dBm	-98.5	-90.5; -93.2	-98.7	-93.7
Selectividad In-channel. Señal interferente (E-UTRA)	dBm	-77	-69; -71.8	-77.4	-72.4

TABLA III
RESULTADOS DE SIMULACIÓN SEAMCAT PARA EL ESCENARIO I Y SUS SUB CASOS

Modulación	Caso		Interferente		Víctima		Interferencia según criterio C/I (%)		
	Subcaso	f(MHz)	Canal	f(MHz)	No deseada	Bloqueada	Combinada		
QPSK	a1	2395	1	2412	0.2	29.7	29.8		
	b1				4.6	96.5	96.5		
	c1				0	91.9	92		
	d1				0	51	51.3		
	e1				0	17.6	18.2		
	f1	2395	5	2432	1	22.9	23		
	a5				1	11	13		
	b5				2.8	29.1	31.9		
	c5				0	0	0		
	d5				0	0	0		
	64-QAM	e5	2395	1	2412	0	0	0	
		f5				1	9	10	
		a1				4.8	96.2	96.2	
		b1				71.7	100	100	
		c1				44.1	100	100	
d1		0	99.5	99.5					
e1		0	98.1	98.1					
f1		3.6	95.1	95.2					
a5		2395	5	2432	3	29.6	32.5		
b5					58.5	96.5	96.8		
c5					10.2	92.4	93.2		
d5					0	51.8	56.2		
e5					0	0	0		
f5		1	9	11					

TABLA IV
RESULTADOS DE SIMULACIÓN SEAMCAT PARA EL ESCENARIO 2 Y SUS SUB CASOS

Modulación	Caso		Interferente		Víctima		Interferencia según criterio C/I (%)		
	Subcaso	f(MHz)	Canal	f(MHz)	No deseada	Bloqueada	Combinada		
QPSK	a1	2395	1	2412	0.3	3.2	3.6		
	b1				0	0.3	0.3		
64-QAM	a1	2395	1	2412	9.3	68.7	72.2		
	b1				0.7	35.8	39.1		
	c1	2395	1	2412	0	0	0.1		
	a5	2395	5	2434	1	3	4		
	b5				0.1	0.3	0.4		

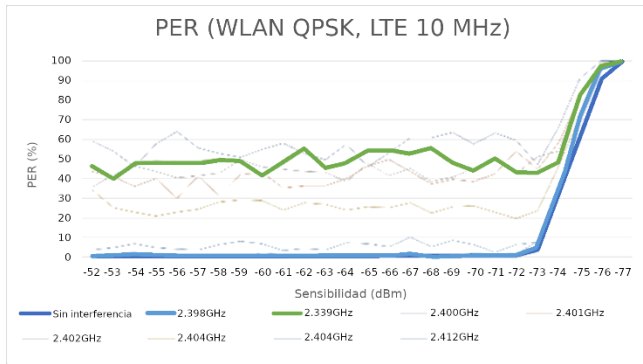


Fig. 7. Nivel de señal contra PER para QPSK con Interferencia.

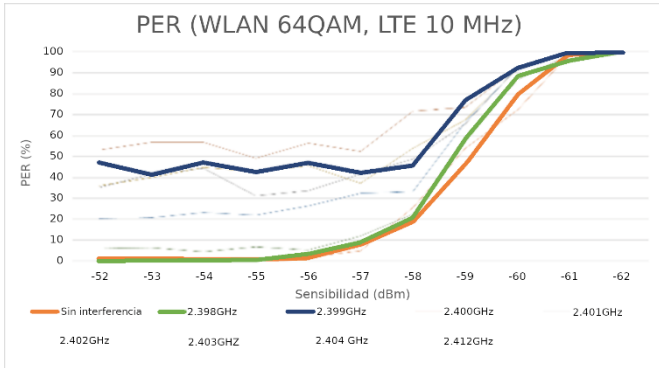


Fig. 8. Nivel de señal contra PER para 64QAM con Interferencia.

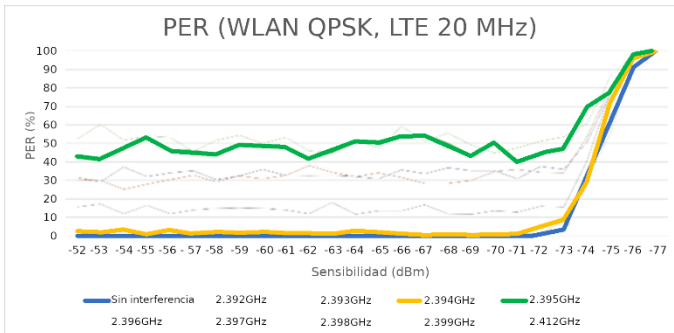


Fig. 9. Nivel de señal contra PER para QPSK con Interferencia 20 MHz.

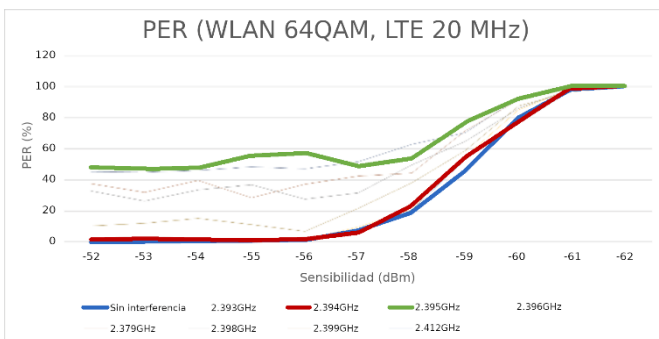


Fig. 10. Nivel de señal contra PER para QAM con Interferencia 20 MHz.

Por tanto, se encuentra que puede existir un solapamiento de 2 MHz (frecuencia central LTE 2.394 GHz) con un

comportamiento del PER aceptable. Como en las anteriores figuras, para WLAN con modulación 64 QAM los errores aparecen a potencias más elevadas, pues es menos robusta que con la modulación QPSK.

C. Mediciones de Laboratorio con WLAN Interferente

Las pruebas con una señal de LTE útil de 10 MHz de ancho de banda se ejecutan de forma que se genera interferencia por los archivos WLAN ARB. En este caso LTE permite modificar la modulación del enlace ascendente y descendente, por tanto, se analizan 8 casos de estudio distintos. En estos casos el parámetro para medir el error, el BLER, no aumenta gradualmente, más bien se obtiene un aumento brusco, casi de 0% a 100% a una potencia determinada. El efecto de la interferencia es prácticamente nulo antes de una frecuencia concreta. Por tanto, cada vez que se haya establecido un dialogo LTE entre el CMW500 y el DUT los resultados son muy similares a los que se obtienen en un caso sin interferencias. El objetivo de estas mediciones era encontrar la frecuencia límite, es decir, la frecuencia a partir de la cual si se sigue aproximando la señal útil a la interferente no se puede establecer un dialogo LTE entre estación base y UE. En la tabla 5 se muestran todos los casos observados, las modulaciones que realmente influyen son las de enlace descendente, puesto que es donde el BLER es medido, y no se aprecian grandes variaciones ni en distancia frecuencial, ni en nivel de potencia a misma modulación de enlace descendente. Los datos más relevantes son los que hemos denominado como frecuencia límite, los cuales indican la última frecuencia antes de que el BLER ascendiera de forma brusca, pasando de un valor de aproximadamente 0% a 100% cuando el nivel de potencia desciende 0.1 dBm respecto al valor anterior (como se observa en la figura 6), así como la potencia de salida que se alcanzaba en esa muestra. Para una modulación QPSK, el caso más restrictivo resulta para el ancho de banda de 10 MHz, con una frecuencia central de 2394.4 GHz, la frecuencia máxima de esa señal será de 2399.4 GHz, la cual mantiene una diferencia frecuencial respecto a la señal de WLAN (cuya frecuencia mínima es de 2402 MHz) de 2.6 MHz, y con respecto a la banda 40 de LTE (2300 - 2400) de 0.4 MHz. Tanto en 64QAM como en QPSK las diferencias frecuenciales son similares (en ambos anchos de banda), sin embargo, observamos una mayor robustez en los niveles de potencia para la señal con modulación QPSK, pudiendo alcanzar -107 dBm (QPSK, 10 MHz) en contrapartida con los -88 dBm que puede descender para una modulación 64QAM (64QAM, 10 MHz). La Tabla V muestra los resultados para este caso.

Se aprecia una ligera diferencia entre las frecuencias límite para las señales de 10 MHz y 20 MHz y una diferencia más notable en la potencia de salida del enlace descendente. Sin embargo, no parece que la modulación del enlace ascendente afecte a las medidas, esto se debe a que el BLER se mide en el enlace descendente.

TABLE V
RESULTADOS LABORATORIO, LTE_{UTIL} WLAN_{INTERFERENTE}

Modulación		Canal límite		Frecuencia límite		Potencia salida DL	
Downlink	Uplink	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
QPSK	QPSK	39594	39590	2394.4	2394	-107	-104.5
QPSK	16-QAM	39596	39591	2394.6	2394.1	-107	-104
64-QAM	QPSK	39597	39592	2394.8	2394.2	-88	-83
64-QAM	16-QAM	39597	39591	2394.6	2394.1	-87	-84.5

V. CONCLUSIÓN

Las simulaciones con SEAMCAT buscaron generar escenarios pesimistas, con el fin de evaluar los peores casos de interferencia entre los sistemas IMT en la banda de 2300 a 2400 MHz y las tecnologías más comunes en la banda de uso libre de 2400 a 2483.5MHz, que incluyen WiFi, Bluetooth y Zig-Bee. En general, cuando el sistema IMT interfiere a los sistemas en banda libre, se pueden dar casos de altos niveles de interferencia, bajo el supuesto de que los sistemas operan en los canales más bajos. En el caso de Bluetooth y ZigBee, dado que ambas tecnologías usan saltos de frecuencia, esta situación de estar en el canal más cerca a los 2400MHz solo se da durante unos pocos microsegundos, por lo que en promedio el efecto de la interferencia desde los sistemas IMT es despreciable. Sin embargo, como recomendación general, se aconseja mantener una distancia de al menos 100 metros entre estaciones base IMT y sistemas Bluetooth y ZigBee.

En el caso de WiFi, en presencia de estaciones base IMT, es aconsejable usar los canales superiores al 5, o garantizar una separación de al menos 1 kilometro entre dispositivos de acceso (Access Points) WiFi y las estaciones base IMT en entornos exteriores. En el caso de entornos interiores, dado el aislamiento que dan los muros, no se requiere una separación especial entre los sistemas. Es importante mencionar que el análisis se hizo considerando estaciones base IMT de rango amplio (*Wide Range*), que usan la mayor potencia que establecen las normas 3GPP.

Las pruebas de laboratorio recrearon un escenario realista en una cámara anecoica el efecto de la interferencia, mostrando que se debe tener una separación de aproximadamente 5 MHz entre las dos bandas, de forma que los efectos de interferencia de IMT hacia WiFi o viceversa se mantengan dentro de los límites aceptables de *Packet Error Rate*.

El caso más restrictivo se produce cuando LTE es la señal útil y, por tanto, debe ser tomado como referencia a la hora de establecer una banda de guarda, la cual será de 0.6 MHz con respecto a la frecuencia límite que establece la banda 40 de LTE y 0.8 MHz respecto a la señal WLAN.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional del Espectro (ANE) de Colombia, en especial al Ing. Oscar Correa, por su revisión y realimentación en el proyecto, resultado del convenio de cooperación 149 de 2021.

Agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español por cofinanciar con el proyecto PID2022-136869NB-C32.

REFERENCIAS

- [1] Industry Canada, «Consultation on Renewal Process for 2300 MHz and 3500 MHz Licences». Accedido: 28 de julio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf10481.html>
- [2] E. C. Committee, «Broadband wireless systems usage in 2300–2400 MHz», *ECC Rep.*, vol. 172, 2012.
- [3] International Telecommunications Union, *Recommendation ITU-R M.1036-5. Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations (RR)*. 2015.
- [4] 5G Americas, «Estado de las Bandas de Espectro Radioeléctrico en América Latina: 600 MHz, 700 MHz, 2300 MHz, 2500 MHz y 3500 MHz». Accedido: 28 de julio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://brechacero.com/download/2433/>
- [5] GSMA Intelligence, «Spectrum management in Latin America: impacts on economic and social development». 2023. Accedido: 28 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://data.gsmaintelligence.com/research/research/research-2023/spectrum-management-in-latin-america-impacts-on-economic-and-social-development>
- [6] Agencia Nacional del Espectro, «Cuadro Nacional de Atribución de Bandas». 2021. [En línea]. Disponible en: https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane_master/cnabf-tecnico.aspx
- [7] GSMA, «GSMA Intelligence Spectrum Navigator, Q1 2021: New Insights and trends to watch». Accedido: 29 de julio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2021/03/Spectrum-Navigator-Q1-2021.pdf>
- [8] APT, «APT FREQUENCY ARRANGEMENT ON 2300 – 2400 MHz FOR IMT/BWA». abril de 2010.
- [9] IFT Unidad de Espectro y Radioeléctrico, «Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación». IFT, marzo de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/14863/documentos/04-estudiouer5g-imt.pdf>
- [10] W. Liu, J. Fang, H. Tan, B. Huang, y W. Wang, «Coexistence studies for TD-LTE with radar system in the band 2300–2400 MHz», en *2010 International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS)*, jul. 2010, pp. 49-53. doi: 10.1109/ICCCAS.2010.5582021.
- [11] H. Tan, W. Liu, D. Meng, B. Huang, y W. Wang, «Coexistence studies for TD-SCDMA with radar sysetm in the band 2300–2400 MHz», en *2010 3rd IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT)*, oct. 2010, pp. 451-456. doi: 10.1109/ICBNMT.2010.5705131.
- [12] M. Vaser, E. Ricci, G. Pierri, E. Restuccia, y G. Fusco, «Coexistence issues of 2300–2400 MHz band LTE signals and 2400–2500 MHz band Wi-Fi systems», en *2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks*

(*ICUFN*), jul. 2017, pp. 450-455. doi: 10.1109/ICUFN.2017.7993825.

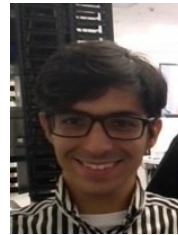
- [13] R. Ekman *et al.*, «Measurements to Study the Coexistence of Private LTE TDD Networks in 2.3 GHz Band», en *2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, may 2021, pp. 102-108. doi: 10.23919/FRUCT52173.2021.9435513.
- [14] J. Kalliovaara *et al.*, «Interference measurements for Licensed Shared Access (LSA) between LTE and wireless cameras in 2.3 GHz band», en *2015 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, sep. 2015, pp. 123-129. doi: 10.1109/DySPAN.2015.7343896.
- [15] M. Höyhty *et al.*, «Spectrum Occupancy Measurements in the 2.3-2.4 GHz band: Guidelines for Licensed Shared Access in Finland», *EAI Endorsed Trans. Cogn. Commun.*, vol. 1, n.º 2, may 2015, Accedido: 7 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eudl.eu/doi/10.4108/cogcom.1.2.e2>
- [16] D. Guiducci *et al.*, «Regulatory Pilot on Licensed Shared Access in a Live LTE-TDD Network in IMT Band 40», *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 3, n.º 3, pp. 534-549, sep. 2017, doi: 10.1109/TCCN.2017.2750670.
- [17] D. Guiducci *et al.*, «Sharing under licensed shared access in a live LTE network in the 2.3–2.4 GHz band end-to-end architecture and compliance results», en *2017 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, mar. 2017, pp. 1-10. doi: 10.1109/DySPAN.2017.7920759.
- [18] D. Guiducci *et al.*, «Sharing under licensed shared access in a LTE real test network at 2.3–2.4 GHz», en *2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, sep. 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/PIMRC.2016.7794579.
- [19] Electronic Communications Committee, «ECC Report 252: Seamcat Handbook Edition 2». abril de 2016.
- [20] European Conference of Postal and Telecommunication administrations (CEPT), «SEAMCAT - Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool». [En línea]. Disponible en: <https://www.cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool>
- [21] «SEAMCAT Handbook». [En línea]. Disponible en: <https://ecowiki.atlassian.net/wiki/spaces/SH/overview?homepageId=491522>



Andrés Navarro (Senior Member, IEEE) Is an Electronics Engineer (1993), with a Master on Technology Management (1999), both from Universidad Pontificia Bolivariana in Medellín. Obtained his PhD in Telecommunications from Universitat Politècnica de Valencia in 2003. He is IEEE member since 1995 and Senior Member since 2014. Advisor of the Spectrum Management Committee for Colombian Spectrum Agency and ITU expert. His main research interests include Radio communications and eHealth.



Leonardo Vargas, holds a Master's degree in Informatics and Telecommunications (2015) and a degree in Telematics Engineering (2009) from the Universidad Icesi of Cali, Colombia. He has experience in the areas of telecommunications, mHealth and B2B, and participates in technical studies to define operation and coexistence parameters of wireless technologies such as 5G, DVB-T2 and LTE.



Nicolas Salazar holds a B.Sc degree in Telematics engineering (2022), from the Icesi University of Cali, Colombia, and He is currently working toward the M.S. degree in the same university. He has also worked as a technical consultant for the (ANE), defining technical parameters for operating different telecommunication systems like DVB-T2 and LTE.



Alfredo Serna-Sabater, Is a Telecommunications Engineer from Cartagena Technical University(2022), with experience in the areas of telecommunications,. Has participated in technical studies to define the operation and coexistence parameters of wireless technologies such as 5G, DVB-T2 and LTE.



José Maria Molina, Is a Telecommunications Engineer from the Universitat Politècnica de Valencia (2000), MSc in Communications and Signal Processing from Newcastle upon Tyne (United Kingdom) (2001), PhD in Telecommunications Engineering from the Polytechnic University of Cartagena (UPCT , 2004), and Diploma in Business Sciences from the UPCT (2008). His research activities focus on radio communications, propagation, radio channel modeling and experimental measurements in different frequency bands (from 100 MHz to 500 GHz) and technologies (UWB, GSM, UMTS, LTE, Wi-Fi, WSN, TETRA, MMW, OFDM, MIMO, BAN, RFID, cognitive radio, maritime communications, among others).