



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

Resolución de problemas en la cobertura de redes 5G

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Alhambra Colmenero, Javier

Tutor/a: Rubio Arjona, Lorenzo

Cotutor/a externo: GUILLEN RUIZ, FRANCISCO VICENTE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN



## Agradecimientos

Quería dedicar este apartado para agradecer a la Universitat Politècnica de València y a todo el profesorado y personal por la dedicación recibida y el desempeño puesto en mí durante estos años.

Agradecer también a aquellas personas que incondicionalmente han estado presente día tras días y haber confiado en mí incluso en los peores momentos, entre las cuales cabe destacar a mi familia y amigos. Gracias a ellos he llegado a ser la que persona que soy.

Por último y no menos importante, me doy las gracias a mí mismo por seguir cuando parecía imposible y acabar consiguiendo aquello propuesto.

Gracias por todo.



## Resumen

En el presente trabajo se pretende dar una solución a los problemas relacionados con el traspaso de celdas en el momento en el que un usuario debe realizar un cambio de celda que le está ofreciendo servicios de voz y/o datos debido a un movimiento del propio usuario.

Para ello se hará uso de consultas en Microsoft SQL Server para extraer y comparar información de la topología de red de los clientes de la compañía EXFO TELECOM SPAIN. La información de los clientes se encuentra ubicada en bases de datos a las que se deberá acceder mediante la ejecución de diferentes consultas. Posteriormente, para cada posible escenario de conflicto que se pueda dar entre dos celdas de la red, se compararán sus campos identificados con el fin de encontrar posibles indicios que provoquen los casos de colisión y confusión que se puedan dar en el momento de realizar un traspaso de celda por parte del usuario.

Finalmente, tras finalizar la ejecución de cada consulta, los posibles casos de conflicto serán arrojados al usuario en la pantalla de la aplicación de Microsoft SQL Server.

## Resum

En el present treball es pretén donar una solució als problemes relacionats amb el traspàs de cel·les en el moment en què un usuari ha de realitzar un canvi de cel·la que li està oferint servicis de veu i/o dades degut a un moviment del propi usuari.

Per a això es farà ús de consultes en Microsoft SQL Server per a extraure i comparar informació de la topologia de xarxa dels clients de la companyia EXEXFO TELECOM SPAIN. La informació dels clients es troba ubicada en bases de dades a què s'haurà d'accedir per mitjà de l'execució de diferents consultes. Posteriorment, per a cada possible escenari de conflicte que es puga donar entre dos cel·les de la xarxa, es compararan els seus camps identificats a fi de trobar possibles indicis que provoquen els casos de col·lisió i confusió que es puguen donar en el moment de realitzar un traspàs de cel·la per part de l'usuari.

Finalment, després de finalitzar l'execució de cada consulta, els possibles casos de conflicte seran mostrats a l'usuari en la pantalla de l'aplicació de Microsoft SQL Server.

## Abstract

This paper aims to provide a solution to the problems related to the transfer of cells when a user has to change the cell that is offering voice and/or data services due to the user's own movement.

For this purpose, Microsoft SQL Server queries will be used to extract and compare information on the network topology of EXFO TELECOM SPAIN customers. The customer information is located in databases that must be accessed by executing different queries. Subsequently, for each possible conflict scenario that may occur between two cells of the network, their identified fields will be compared in order to find possible clues that cause cases of collision and confusion that may occurs at the time of a cell transfer by the user.

Finally, after finishing the execution of each query, the possible conflict cases will be displayed to the user on the screen of the Microsoft SQL Server application.



## Contenidos

|  |    |
|--|----|
| Índice de Figuras.....                               | 2  |
| Índice de Esquemas.....                              | 3  |
| Índice de Tablas .....                               | 4  |
| Ecuaciones .....                                     | 5  |
| Glosario.....  | 6  |
| 1. Introducción y objetivos.....                     | 8  |
| 2. Introducción a las comunicaciones móviles.....    | 9  |
| 3. Quinta generación de comunicaciones móviles ..... | 13 |
| Factores clave para el desarrollo del 5G .....       | 13 |
| KPIs del 5G.....                                     | 14 |
| Casos de uso del 5G.....                             | 15 |
| Tecnologías clave para 5G.....                       | 17 |
| 1) Ondas de bandas milimétricas.....                 | 17 |
| 2) MIMO Masivo .....                                 | 18 |
| 3) Beamforming .....                                 | 19 |
| 4) Celdas pequeñas.....                              | 19 |
| Arquitectura y diseño del 5G .....                   | 20 |
| Red Central – CORE.....                              | 20 |
| Radio Access Network (RAN).....                      | 21 |
| Proceso de Handover .....                            | 21 |
| 5G Physical Cell ID .....                            | 23 |
| Colisión y Confusión de PCI .....                    | 24 |
| Confusión por PCI .....                              | 24 |

|   |    |
|---|----|
| Colisión por PCI .....  | 25 |
| 4. Descripción detallada de la solución adoptada .....  | 26 |
| Explicación de las columnas contenidas en las tablas .....  | 27 |
| Explicación de las tablas utilizadas de la DB .....   | 28 |
| Explicación de la unión topología física y la topología aportada por el cliente.....  | 29 |
| Explicación de los casos: .....   | 33 |
| CASO 1: Celda de referencia con respecto a celda vecina .....   | 33 |
| CASO 2: Celda servidora con respecto a celda servidora.....   | 33 |
| CASO 3: Celdas servidoras con respecto a celda de referencia.....   | 35 |
| CASO 4: Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel .....  | 35 |
| CASO 5: Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel .....  | 37 |
| CASO 6: Celda vecina de segundo nivel con respecto a otra celda vecina de segundo nivel .....   | 39 |
| CASO 7: Solape entre las áreas de cobertura entre una celda de referencia y otra celda .....  | 41 |
| CASO 8: Solape entre las áreas de coberturas de dos celdas con la celda de referencia .....   | 43 |
| CASO 9: Solape entre las áreas de coberturas de la celda de referencia y el área otra celda no vecina que comparten PCI con la celda vecina ..... | 44 |
| 5. Resultados obtenidos .....   | 47 |
| Resultados caso 1 .....   | 47 |
| Resultados caso 2.....  | 47 |
| Resultados caso 4.....  | 48 |
| Resultados caso 7.....  | 48 |
| Resultados caso 8.....  | 48 |
| Resultados caso 9.....  | 49 |
| 6. Discusión de los resultados obtenidos .....  | 50 |
| 7. Conclusiones y líneas futuras.....   | 51 |
| 8. Bibliografía .....   | 52 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Arquitectura de AMPS. Fuente: [1].....                                  | 9  |
| Figura 2. Técnicas de acceso al medio. Fuente: [3] .....                          | 10 |
| Figura 3. Arquitectura UTRAN de red LTE. Fuente: [6] .....                        | 10 |
| Figura 4. Comparación modulación OFDM vs OFDMA. Fuente: [9].....                  | 11 |
| Figura 5. MIMO. Fuente: [11] .....  | 12 |
| Figura 6. Crecimiento global de las conexiones M2M Fuente: [13].....              | 13 |
| Figura 7. Tráfico mundial de datos desde 2016 a 2021. Fuente: [13].....           | 14 |
| Figura 8. Requerimientos del 5G. Fuente: [16] .....                               | 15 |
| Figura 9. Casos de uso del 5G y ejemplos relacionados. Fuente: [18] .....         | 15 |
| Figura 10. Comparación espectro usado en 4G vs 5G. Fuente [19].....               | 18 |
| Figura 11. Demostración de Beamforming 5G. Fuente: [22] .....                     | 19 |
| Figura 12. Áreas funcionales del CORE Fuente: [24] .....                          | 20 |
| Figura 13. Arquitectura de red 5G. Fuente: [23].....                              | 21 |
| Figura 14. Proceso de handover en 5G. Fuente: [26].....                           | 22 |
| Figura 15. Proceso de handover en 5G. Fuente: [27].....                           | 22 |
| Figura 16. Planificación PCI. Fuente [28] .....                                   | 24 |
| Figura 17. Confusión por PCI y correcta planificación. Fuente: [28].....          | 25 |
| Figura 18. Ejemplo colisión por PCI. Fuente: [29].....                            | 25 |
| Figura 19. Línea donde especificar ruta fichero. Fuente: Elaboración propia ..... | 47 |
| Figura 20. Resultados obtenidos del caso 1. Fuente: Elaboración propia.....       | 47 |
| Figura 21. Resultados obtenidos del caso 7. Fuente: Elaboración propia.....       | 48 |
| Figura 22. Resultados obtenidos del caso 8. Fuente: Elaboración propia.....       | 48 |

## Índice de Esquemas

|   |    |
|---|----|
| Esquema 1. Unión topología física y la topología aportada por el cliente. Fuente: Elaboración propia ....                     | 32 |
| Esquema 2. Celda servidora con respecto a celda servidora. Fuente: Elaboración propia .....                                   | 34 |
| Esquema 3. Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia .....                 | 37 |
| Esquema 4. Celda vecina con respecto a celda vecina de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia .....                        | 39 |
| Esquema 5. Celda servidora de segundo nivel con respecto a celda servidora de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia ..... | 41 |



## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen generación de tecnologías. Fuente: Elaboración propia.....                          | 12 |
| Tabla 2. Comparación MIMO con MIMO Masivo. Fuente: [15] .....  | 19 |
| Tabla 3. Características de la metroceldas, picoceldas y femtocelda. Fuente: [13] .....              | 20 |
| Tabla 4. Descripción de las columnas del código programado. Fuente: Elaboración propia .....         | 27 |
| Tabla 5. Descripción de las columnas del código programado. Fuente: Elaboración propia .....         | 28 |
| Tabla 6. Descripción de las tablas de utilizados en I. Fuente: Elaboración propia. ....              | 29 |
| Tabla 7. Tipos de celdas y características. Fuente: [25] .....                                       | 31 |
| Tabla 8. Explicación de las tablas del caso 2. Fuente: Elaboración propia.....                       | 34 |
| Tabla 9. Explicación de las tablas del caso 4. Fuente: Elaboración propia.....                       | 36 |
| Tabla 10. Explicación de las tablas del caso 5. Fuente: Elaboración propia.....                      | 38 |
| Tabla 11. Explicación de las tablas del caso 6. Fuente: Elaboración propia.....                      | 40 |
| Tabla 12. Explicación de las tablas del caso 7. Fuente: Elaboración propia.....                      | 42 |
| Tabla 13. Descripción nombre columnas de la tabla “case7_detected”. Fuente: Elaboración propia ..... | 43 |
| Tabla 14. Explicación de las tablas del caso 8. Fuente: Elaboración propia.....                      | 43 |
| Tabla 15. Descripción nombre columnas de la tabla “case8_detected”. Fuente: Elaboración propia ..... | 44 |
| Tabla 16. Explicación de las tablas del caso 9. Fuente: Elaboración propia.....                      | 45 |
| Tabla 17. Descripción nombre columnas de la tabla “case9_detected”. Fuente: Elaboración propia ..... | 46 |

## Ecuaciones

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1. Teorema Shannon-Hartley. Fuente: Elaboración propia.....  | 17 |
| Ecuación 2. Teorema Shannon-Hartley teniendo en cuenta el número de antenas "n". Fuente: Elaboración propia ..... | 17 |
| Ecuación 3. Formación de un PCI. Fuente: [28].....  | 23 |
| Ecuación 4. Valor PCI máximo. Fuente: [28].....   | 23 |
| Ecuación 5. Distancia entre celdas mediante el método Haversine. Fuente: [30] .....                               | 31 |

## Glosario

|       |   |
|-------|---|
| 2G    | Segunda generación de redes móviles           |
| 3G    | Tercera generación de redes móviles           |
| 4G    | Cuarta generación de redes móviles            |
| 5G    | Quinta generación de redes móviles            |
| AMPS  | Advanced Mobile Phone System                  |
| CDMA  | Code División Multiple Access                 |
| CU    | Caso de Uso                                   |
| DB    | DataBase                                      |
| eMBB  | enhanced Mobile Broadband                     |
| FDMA  | Frequency División Multiple Access            |
| gNB   | g-Node B                                      |
| GSM   | Global System for Mobile Communications       |
| ICI   | Interferencia entre portadora                 |
| LTE   | Long-Term Evolution                           |
| M2M   | Machine to machine                            |
| MIMO  | Multiple-input Multiple-output                |
| NR    | New Radio                                     |
| NSA   | Non-standAlone                                |
| OFDMA | Orthogonal frequency-division multiple access |
| PCI   | Physical Cell ID                              |
| QoS   | Quality of Service                            |
| RAN   | Radio Access Network                          |
| SA    | StandAlone                                    |
| TDMA  | TIme División Multiple Access                 |
| UE    | Equipo de Usuario                             |

UMTS

Universal Mobile Telecommunications Service

WCDMA

Wideband Code Division Multiple Access

## 1. Introducción y objetivos

En su momento lo fue el motor de vapor, más adelante lo fue la imprenta, también tuvo su apogeo el ordenador al igual que el Internet y así un sinnúmero de cambios inimaginables se han dado a lo largo de la historia impulsados por la sed de curiosidad y deseo de avance del ser humano. Los efectos y alcances de estos grandes avances tecnológicos han tenido consideración en ramas tan variadas como la medicina con el uso de resonancias magnéticas salvando millones de vidas hasta otros campos tan diversos como la armamentística con los sistemas radar que permiten mediante ondas electromagnéticas posicionar un objetivo, posteriormente aplicado a labores más convencionales como la telefonía móvil. Todo ello ha resultado en una mejora de la calidad de vida de las personas en todo el mundo.

De igual forma que las anteriores tecnologías mencionadas han supuesto un antes y un después para la humanidad, las comunicaciones móviles y, en general, cualquier rama de las telecomunicaciones están tomando especial atención dentro la sociedad en las últimas décadas por el gran potencial que presentan. Interés agravado en los últimos años con los diversos acontecimientos vividos como lo son desde el surgimiento de nuevos medios digitales de intercambio como las criptomonedas, hasta nuevos estilos de vida potenciados a raíz de la pandemia COVID-19 como es el metaverso donde los humanos interactúan socialmente mediante avatares sin limitaciones.

El desarrollo de este conjunto de tecnologías está acompañado de grandes exigencias como disponer de una mayor conectividad, más rápida, de mayor fiabilidad y más segura lo cual ha provocado el desarrollo de las diferentes generaciones de tecnologías de telefonía móvil.

El motivo principal de haber desarrollado este trabajo final de grado ha sido principalmente para apoyar al departamento de trabajo al que pertenezco de la compañía EXFO con el diseño de una herramienta capaz de detectar errores en el diseño de red 5G de los clientes de la empresa. Esta herramienta será implementada en un futuro como una de las funcionalidades de un programa.

Con este proyecto se pretende encontrar aquellos problemas en la red de 5G de un cliente originados por un mal diseño en el despliegue de la red. Es necesario detectar dichos conflictos puesto que de no ser así se producirán caídas de las llamadas de los equipos de usuario.

La correcta detección de estos casos de conflicto mejorará la red de cliente y el servicio dado al usuario final.

## 2. Introducción a las comunicaciones móviles

Antes de adentrarse en detalles sobre la tecnología 5G, en esta sección se hará un breve repaso a las tecnologías que se han sucedido en los últimos años. Desde la tecnología analógica hasta LTE, cada generación de tecnología móvil ha estado motivada por la necesidad de satisfacer un nuevo requisito exigido por la sociedad y por el ambiente tecnológico que avanza. Partiendo de las llamadas de voz analógicas y los SMS, pasando por el correo electrónico y las redes sociales, así como la transmisión de música y video y llegando a la realidad virtual (VR), el ancho de banda móvil ha aportado enormes beneficios en cualquier parte del mundo. La vida de muchas personas ha cambiado gracias a la investigación y avance de estas tecnologías.

La primera generación de tecnología de comunicaciones móviles es la tecnología analógica que tuvo su desarrollo en la década de 1980. Es una tecnología caracterizada por ofrecer servicios de voz y fue basada en lo que se conoce como *Advanced Mobile Phone System* (AMPS). La AMPS se trata de un sistema telefónico que era capaz de evitar interferencias mediante el uso de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) con una capacidad por canal de 30KHz y una frecuencia de banda de 824-894MHz. Era capaz de soportar una velocidad de 2.4kbps [1]. En la Figura 1 se puede ver la arquitectura de AMPS.

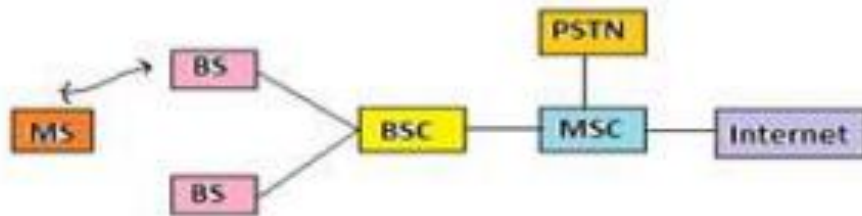


Figura 1. Arquitectura de AMPS. Fuente: [1]

La segunda generación de tecnología de comunicaciones móviles (2G) fue desarrollada a finales de la década de los 80 y está basada en transmisión digital de datos mediante banda baja de señalización. La tecnología más popular de 2G fue la conocida como *Global System for Mobile Communications* (GSM). Primeramente, se usaba un ancho de banda de 25MHz en la banda de 900MHz, aunque posteriormente también se pasó a usar la banda de 1,8GHz; excepto en América donde se usa la banda de 1,9GHz. Paralelamente a GSM, tecnologías como CDMA (*Code División Multiple Access*) y TDMA (*Time División Multiple Access*) también fueron desarrolladas. CDMA desglosa las llamadas en una señal por código mientras que TDMA las desglosa por tiempo. En la Figura 2 se pueden observar las diferentes técnicas de modulación, ambas tecnologías permiten el incremento de la capacidad de red para la operadora y evitan las interferencias entre las diferentes señales [2]. La velocidad usada para la transmisión de voz se sitúa en 64kbps. Se comenzó a transmitir SMS además de voz digital, pero sigue siendo una velocidad insuficiente para la navegación web o las aplicaciones multimedia.

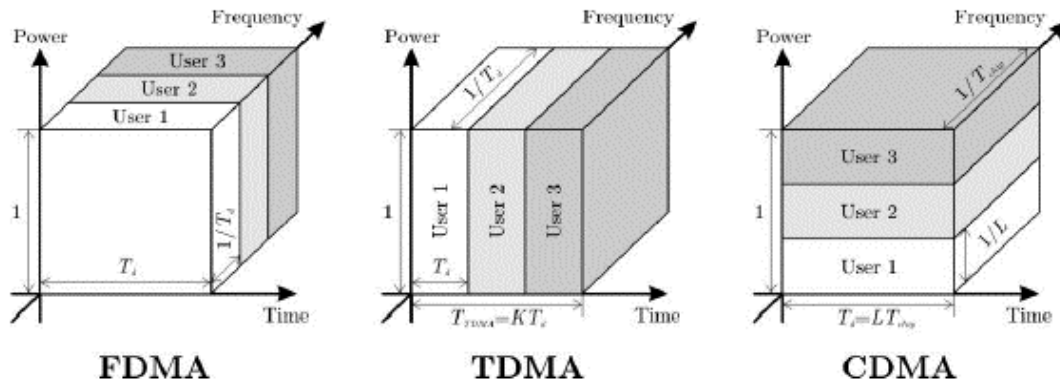


Figura 2. Técnicas de acceso al medio. Fuente: [3]

Por otro lado, se encuentran la generación 3G, los sistemas más populares son WCDMA y CMDA por división de tiempo (TDS-CDMA), ambos basados en CDMA. En estos sistemas todas las estaciones móviles utilizan el mismo recurso de frecuencia y se distinguen entre sí por el uso de los códigos pseudoaleatorios que no llegan a ser exactamente ortogonales produciendo interferencia entre las estaciones móviles relacionado con la potencia emitida [4]. La interfaz más significativa de UMTS es WCDMA la cual viene caracterizada por tener un gran ancho de banda donde los usuarios comparten la misma banda de 5MHz en frecuencia y tiempo y unas velocidades de transmisión altas de hasta 384kbps. Como se comentaba anteriormente los problemas de interferencia entre portadoras (ICI) están vinculados con la potencia transmitida, por ello en WCDMA se requiere el uso del “Fast Power Control” cuyo objetivo es garantizar que cada usuario transmita y reciba la señal con la energía justa para evitar bloqueo e interferencia entre ellos. Además, a ello le acompaña el uso de “soft handover” que permiten las transiciones sin cortes entre diferentes estaciones bases al estar conectados simultáneamente a múltiples de estas. Por último, el receptor más usado en esta tecnología es el receptor “Rake” diseñado especialmente para compensar los efectos del fading [5].

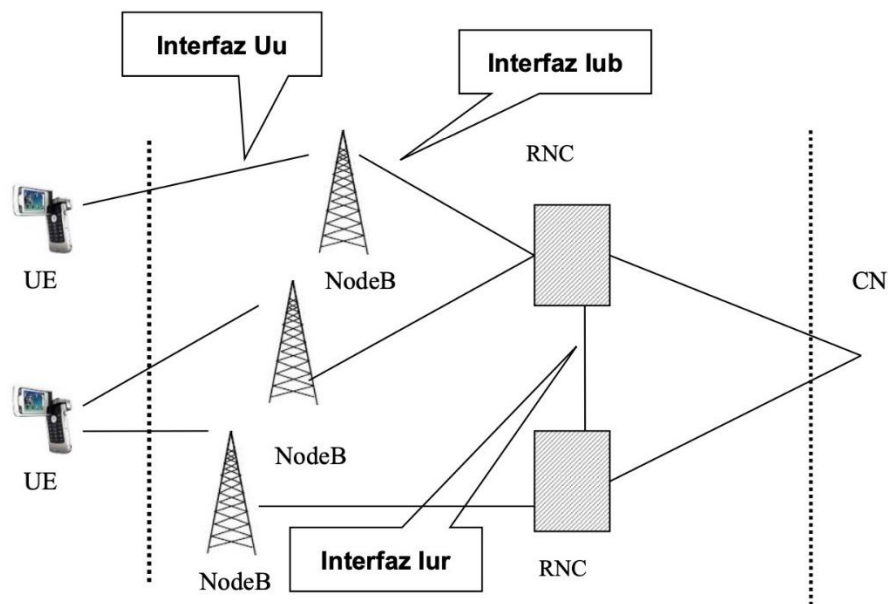


Figura 3. Arquitectura UTRAN de red LTE. Fuente: [6]

La cuarta generación de comunicaciones móviles fue introducida a principios de la década de 2000 y fue un sistema red basado en IP, se le conoce como LTE (*Long-Term Evolution*). LTE es una tecnología que se define como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva del 4G, como una actualización de la tecnología anterior UMTS. Entre sus principales características se pueden encontrar la flexibilidad en el uso de espectro situándose en bandas entre los 800MHz y los 3,5GHz. El ancho de banda es escalable de 1,4 a 20MHz. El radio de celda de LTE alcanza los 5km pudiendo contener a más de 200 usuarios con un ancho de banda de 5MHz y más de 400 usuarios para 20MHz de ancho de banda. Se estiman una velocidad de bajada de 100 hasta 326,4Mbps y desde 50 a 86,4Mbps de subida [7]. Además, LTE incorpora dos innovaciones que merecen ser explicadas con más detalle, son la modulación OFDMA y la tecnología MIMO.

La modulación OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) se trata de una modulación multiportadora en la que los datos se transmiten como una combinación de señales de banda estrecha ortogonales que son conocidas como subportadoras. Proporciona un mejor aprovechamiento del espectro, reduce el efecto ISI (interferencia entre símbolos) y proporciona mayor protección contra el *fading*. Esta técnica ha sido mejorada con OFDMA donde se le asigna una portadora a cada usuario aprovechando aún más el espectro [8]. La diferencia principal entre OFDM y OFDMA es que el primer sistema de demodulación admite múltiples usuarios solo a través de TDMA, mientras que OFDMA permite múltiples usuarios con TDMA o con FDMA o con ambos al mismo tiempo como se puede comprobar en la Figura 4.

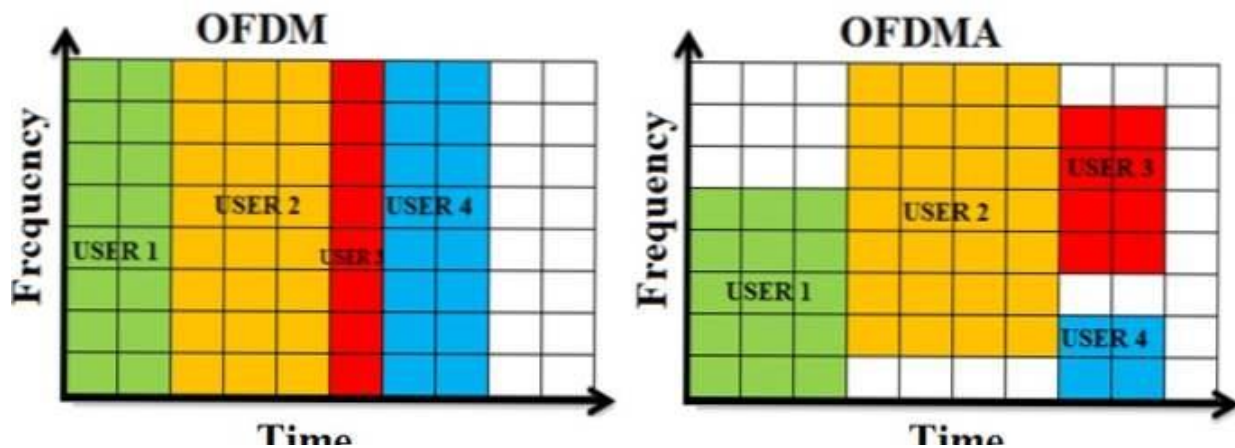


Figura 4. Comparación modulación OFDM vs OFDMA. Fuente: [9]

La otra gran innovación de la tecnología LTE fue la incorporación del sistema MIMO (*Multiple-input Multiple-output*) que mejora considerablemente las prestaciones del sistema LTE. MIMO consiste en el empleo de varias antenas transmisoras y varias antenas receptoras lo que incrementa el número de trayectorias que puede seguir la señal. Al tener mayor muestra de una misma señal transmitida, se minimizan los efectos del ruido no correlacionados y del desvanecimiento rápido [10]. En la Figura 5 podemos ver un ejemplo de múltiples antenas transmitiendo y múltiples antenas recibiendo.



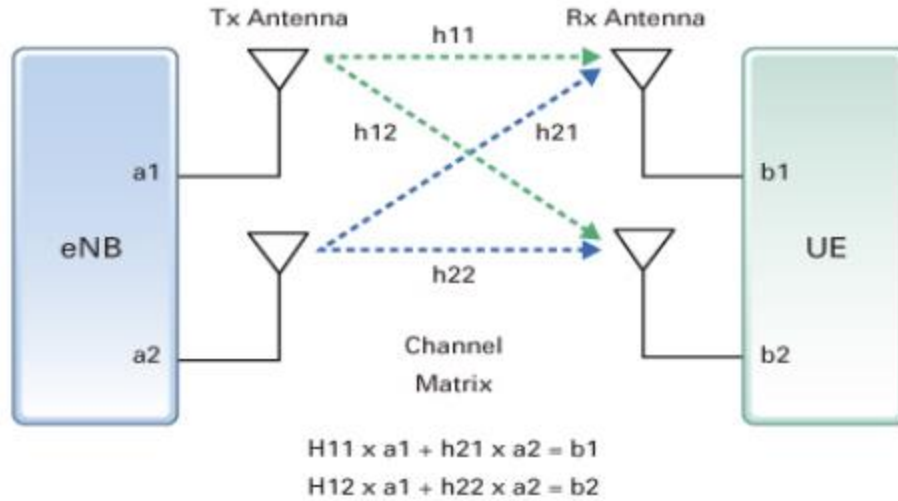


Figura 5. MIMO. Fuente: [11]

En la siguiente Tabla 1 se recogen las principales características de las tecnologías anteriormente explicadas donde además se incluye la tecnología 5G.

| <b>Generación</b>     | <b>1G</b>     | <b>2G</b>         | <b>3G</b>         | <b>4G</b>                   | <b>5G</b>                       |
|-----------------------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| <b>Comienzo</b>       | 1980s         | 1990s             | 2000s             | 2010s                       | 2020s                           |
| <b>Ancho de Banda</b> | 2kbps         | 64kbps            | 144kbps – 384kbps | <1 Gbps                     | >1Gbps                          |
| <b>Tecnología</b>     | AMPS          | GSM, CDMA         | WCDMA             | LTE, WiMax                  | mmWave, Beamforming, Small Cell |
| <b>Servicio</b>       | Voz analógica | Voz digital y SMS | Banda Ancha Móvil | Banda Ancha Móvil más veloz | Conectividad mundial            |
| <b>Multiplexado</b>   | FDMA          | TDMA, CDMA        | CDMA              | CDMA                        | CDMA                            |

Tabla 1. Resumen generación de tecnologías. Fuente: Elaboración propia

### 3. Quinta generación de comunicaciones móviles

#### Factores clave para el desarrollo del 5G

Las tecnologías inalámbricas requieren de una transformación en sus características y en sus capacidades que son exigidas por una sociedad hiperconectada. La baja latencia y el mayor ancho de banda disponible serán los dos aspectos más destacables del 5G. A esto se le añade el uso de frecuencias más altas, una banda ancha de móvil mejorada, mayores velocidades de datos y nuevas opciones tecnológicas a través del 5G como es la transmisión 4k o la realidad virtual.

El término 5G se refiere a la quinta generación de redes móviles y presenta mejoras considerables en sus prestaciones con respecto a las anteriores generaciones las cuales han sido analizadas anteriormente. Surge como fruto de la explosiva demanda por parte de los consumidores originada por tres factores clave [12]:

- El crecimiento del IoT (*Internet of Things*); un sistema en el que las personas, los procesos y los datos se conectan a Internet y entre sí. Se estima que para 2023 se alcanzarán las 14.700 conexiones M2M [13], como se puede apreciar en la Figura 6.

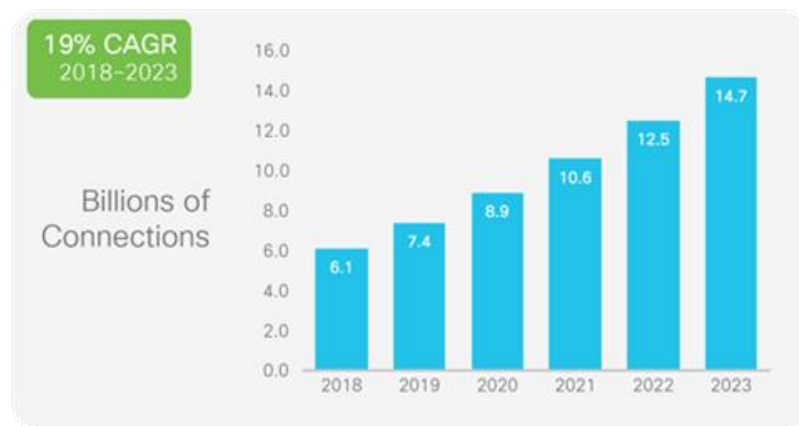


Figura 6. Crecimiento global de las conexiones M2M<sup>1</sup> Fuente: [13]

- El desarrollo de los dispositivos móviles, las plataformas de *computing platform* y las aplicaciones móviles. Estos progresos han producido un aumento exponencial en el tráfico mundial de datos móviles desde 2016 a 2021 como se puede apreciar en la Figura 7.

<sup>1</sup> La tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC) es la tasa media de crecimiento anual de una inversión a lo largo de un periodo determinado superior a un año.

Para calcular la tasa de crecimiento anual compuesto, hay que dividir el valor de una inversión al final del periodo en cuestión por su valor al principio de ese periodo, elevar el resultado a la potencia de uno dividido por la duración del periodo y restar uno del resultado posterior.

## Global Mobile Data Traffic Growth / Top-Line

Global Mobile Data Traffic will Increase 7-Fold from 2016–2021

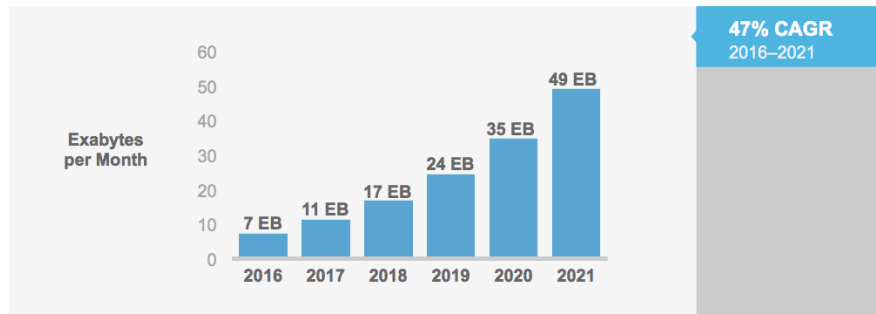


Figura 7. Tráfico mundial de datos desde 2016 a 2021. Fuente: [13]

- Las exigencias de los internautas reflejadas en necesidades de navegación como son la mayor velocidad de datos acompañada de una mayor calidad, un mayor rendimiento, una mayor fiabilidad, un mayor alcance de la movilidad y una densidad de conectividad mayor.

### KPIs<sup>2</sup> del 5G

Existen diferentes modos de cuantificar los objetivos que se pretenden conseguir mediante el despliegue del 5G, a continuación, son presentados los KPIs más importantes:

- Proteger la privacidad del usuario: las redes 5G permitirán una colaboración más cercana con los proveedores de servicios de Internet mundial. El 3GPP ha estado trabajando en las versiones existentes del 5G para proporcionar mecanismos de seguridad para las versiones finales del 5G [14].
- Reducción de la energía consumida por los dispositivos hasta el 90% en comparación con 2010: otros KPI como la baja latencia podría contribuir a reducir el consumo de energía. La reducción del consumo de energía implicaría la consecución de otro objetivo del 5G, alargar la vida de los dispositivos [14].
- Proporcionar una capacidad 1000 veces mayor y más variadas alternativas de servicio en comparación con 2010 [14].
- Conectividad mundial: facilitar el despliegue de comunicación inalámbrica para conectar a más de 7.000 billones de dispositivos inalámbrico que dan servicios a más de 7.000 millones de personas [14].
- La velocidad de datos máxima se espera que alcance los 10Gbit/s para la banda ancha móvil mejorada (eMBB), teniendo un pico de 20Gbit/s en determinados escenarios [15].
- Eficiencia del espectro: se espera que sea tres veces mayor en comparación con 4G [15].
- Latencia de 1ms capaz de soportar servicios en tiempo real con requisitos de latencia muy bajos [15].

<sup>2</sup> Un KPI, conocido también como indicador clave o medidor de desempeño o indicador clave de rendimiento, es una medida del nivel del rendimiento de un proceso.

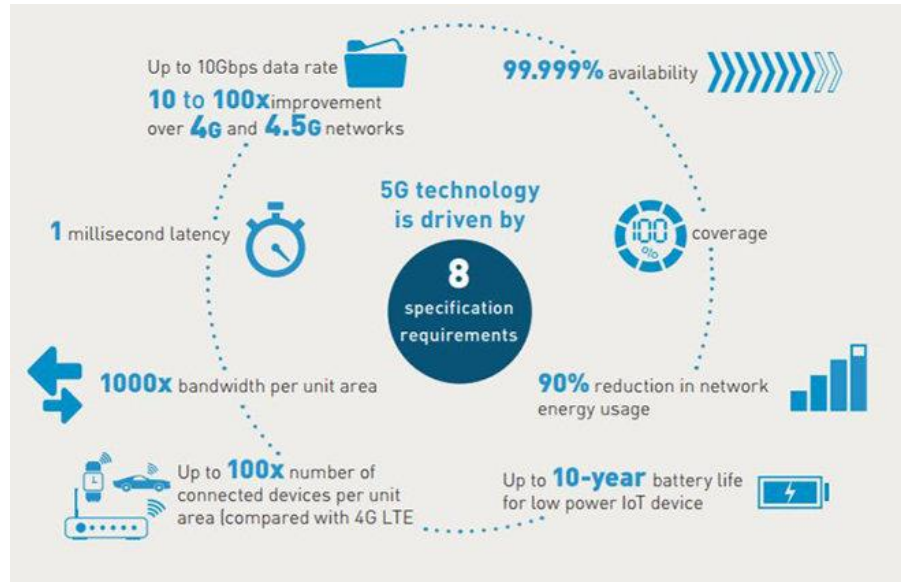


Figura 8. Requerimientos del 5G. Fuente: [16]

## Casos de uso del 5G

La tecnología 5G se ha diseñado con el propósito principal de paliar aquellas flaquezas de las tecnologías antecesoras. A continuación, se van a analizar brevemente aquellos casos de usos (CU) en los que la tecnología 5G tendrá un impacto profundo mejorando la calidad de vida de las personas [17]:

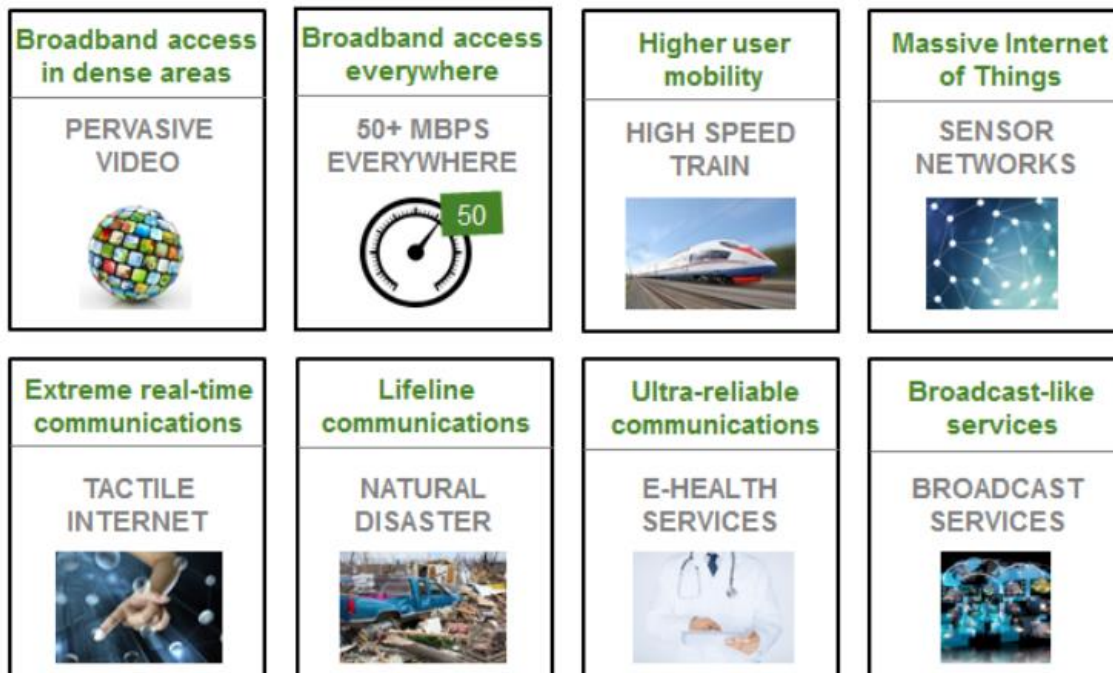


Figura 9. Casos de uso del 5G y ejemplos relacionados. Fuente: [18]

#### CU1: Acceso de banda ancha en zonas densas

La comunicación entre personas mediante plataformas de videos requerirá de una mayor resolución. Mediante el uso del 5G se pretende convertir en realidad la colaboración en oficinas cibernéticas en 3D y la asistencia a clientes mediante servicios de holograma. Estas conexiones de foto y video estarán caracterizadas por la posibilidad de tener una alta densidad de conexiones y un uso bastante amplio temporalmente.

#### CU2: Acceso de banda ancha en cualquier lugar

La tecnología 5G tendrá una tasa de transmisión superior a los 100 Mbps teniendo su pico en 2Gbps. Se tendrá conexión en todos los lugares. Por otra parte, los costes de despliegues de la infraestructura de redes móviles son elevados, será por tanto de vital importancia reducir los costes de despliegue de la tecnología 5G en comparación con los costes de despliegues de las anteriores tecnologías.

#### CU3: Mayor movilidad de los usuarios

La posibilidad de montar en trenes a velocidades de 500km/h y poder mantener llamadas de voz y/o datos será uno de los objetivos del 5G. La movilidad de los usuarios no solo se queda en los vehículos terrestres si no que pretende poder tener conectividad incluso en vehículos aéreos es el ejemplo de la entrega autónoma de paquetes por parte de drones que se realizará mediante un sistema de control remoto que aproveche la comunicación 5G para seguir la ruta.

#### CU4: Internet de las Cosas (IoT)

En el mundo de la moda se espera instalar dispositivos y sensores que permitan en todo momento conocer las condiciones ambientales y personales de los individuos que posee estas prendas, son lo que se conoce como “*Smart Wearables*”. Además, se pretende instalar estos mismos sensores en diferentes zonas urbanas y suburbanas con la finalidad de tener información en todo momento del ambiente externo. Asimismo, se pretende automatizar procesos sin la supervisión directa del ser humano, estas aplicaciones deberán ser realmente fiables y deberán interactuar correctamente con los sistemas remotos.

#### CU5: Comunicaciones en tiempo real

Las operaciones a distancia requieren de gran precisión y de unos tiempos de retardo extremadamente bajos. Con el uso del 5G y las características que lo acompañan se podrían llevar a cabo operaciones donde paciente y doctor no tendrán que compartir la misma habitación, acercando así los mejores doctores especialistas a todos los lugares del mundo. Este es solo de uno de los numerosos ejemplos que podrían usar esta comunicación a tiempo real.

#### CU6: Línea de comunicación de emergencias

El consumo eficiente de los dispositivos 5G y la longevidad de sus baterías será indispensable en casos de emergencia como catástrofes naturales proporcionando una línea de comunicación sólida a los supervivientes que se encuentran atrapados.

#### CU7: Comunicaciones muy fiables

Surgirán nuevas aplicaciones que estimen a tiempo real la densidad de tráfico de una carretera, los accidentes surgidos, etc.; lo que conllevará una mejora en el tránsito de los vehículos en las carreteras. Para ello es necesario unos tiempos de latencia muy bajos. Además, la industria robótica hará manejo de esta tecnología para poder reemplazar tareas muy dificultosas y precisas que elaboran las personas por máquina controladas minuciosamente, donde la latencia y el tiempo de respuesta juega un papel fundamental. Asimismo, se llevará a cabo la instalación de sensores a partir de los cuales se podría monitorizar y obtener datos de forma casi inmediata que requieren una toma de acción inminente.

CU8: Servicios similares a los de radiodifusión.

La comunicación a través del 5G a miles de destinos posibilitará también la retroalimentación para servicios interactivos en tiempo real. La comunicación dejará de ser únicamente unidireccional, un ejemplo típico es la comunicación de información sobre atascos de tráfico.

## Tecnologías clave para 5G

El teorema de Shannon-Hartley indica que la capacidad de canal “C” depende del ancho de banda “B” y de la relación señal a ruido “S/N” mediante la siguiente expresión:

$$C \cong B \cdot \log_2(1 + S/N)$$

*Ecuación 1. Teorema Shannon-Hartley. Fuente: Documentación teórica asignatura Comunicaciones Móviles*

Si se contempla el número de antenas usadas “n”, en el caso de que se use un número mayor de la unidad, la expresión pasa a tener la siguiente forma:

$$C \cong B \cdot n \cdot \log_2(1 + S/N)$$

*Ecuación 2. Teorema Shannon-Hartley teniendo en cuenta el número de antenas "n". Fuente: Documentación teórica asignatura Comunicaciones Móviles*

Una mayor capacidad de transmisión, consecuentemente, puede ser obtenida aumentando el espectro “B”, el número de antenas “n” y/o la relación señal a ruido “S/N”:

- Aumentar el ancho de banda no parece ser una solución viable puesto que es un recurso limitado y escaso que el gobierno se encarga de repartir, aunque este no sea este el propietario de tal recurso sino de todos.
- Se puede utilizar un número mayor de antenas si se usan técnicas como MIMO que a continuación serán tratadas.
- La relación señal a ruido puede mejorar reduciendo las interferencias a través de los receptores o de técnicas avanzadas.

A continuación, van a ser descritos brevemente diferentes mecanismos para mejorar la capacidad del canal “C” característicos del 5G.

### 1) Ondas de bandas milimétricas

El uso de bandas milimétricas ha sido descartado tradicionalmente para la transmisión en las comunicaciones móviles por su corto alcance y por tener problemas de cobertura a no ser que exista visión directa. Esto es debido a que las ondas milimétricas están asociadas a frecuencias más altas que son absorbidas más fácilmente por la atmósfera y son más fácilmente dispersadas. Las ondas de banda

milimétricas pasan de usar la banda entre 3kHz a 6GHz a la banda de 6GHz a 300GHz [19], como se muestra en la Figura 10. El motivo principal por el que se ha decidido pasar a usar esta banda del espectro es que las bandas usadas tradicionalmente se encuentran muy congestionadas y a esto se le suma que las nuevas aplicaciones como son la realidad virtual, la realidad aumentada, el metaverso, las nuevas tecnologías, etc.; tendrán unos requerimientos de capacidad mucho mayores a los que actualmente son exigidos.



Figura 10. Comparación espectro usado en 4G vs 5G. Fuente [19]

## 2) MIMO Masivo

Los sistemas MIMO han sido utilizados en anteriores tecnologías como en LTE para aumentar la eficiencia espectral y energética. Aun así, la tecnología LTE no es capaz de hacer frente al enorme crecimiento de tráfico de datos que se está llevando a cabo actualmente.

El MIMO Masivo es un avance del sistema MIMO convencional cuya diferencia más destacable es el aumento del número de antenas utilizadas en la estación base de tal forma que cada uno de los haces radiados son más estrechos lo que permite focalizarse más hacia cada usuario aumentando el rendimiento y reduciendo interferencias entre vecinos [20]. En la Tabla 2 se muestra una comparación del sistema MIMO convencional y el MIMO Masivo que será usado en la tecnología 5G.

|                                   | <b>MIMO</b> | <b>MIMO MASIVO</b> |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| <b>Número de antenas</b>          | $\leq 8$    | $\geq 16$          |
| <b>Rendimiento</b>                | Bajo        | Alto               |
| <b>Acoplamiento de antena</b>     | Bajo        | Alto               |
| <b>Tasas de error de bit</b>      | Alto        | Bajo               |
| <b>Protección frente al ruido</b> | Bajo        | Alto               |
| <b>Eficiencia energética</b>      | Bajo        | Alto               |
| <b>Coste</b>                      | Bajo        | Alto               |
| <b>Complejidad</b>                | Bajo        | Alto               |

|                               |      |      |
|-------------------------------|------|------|
| <b>Escalabilidad</b>          | Bajo | Alto |
| <b>Estabilidad de alcance</b> | Bajo | Alto |
| <b>Correlación de antena</b>  | Bajo | Alto |

Tabla 2. Comparación MIMO con MIMO Masivo. Fuente: [20]

### 3) Beamforming

El *Beamforming* se define como la capacidad de la estación base para adaptar el patrón de radiación de la antena [21]. Estos haces permiten centrarse en cada uno de los usuarios que interacciona con la estación base dotando a la conexión de una mayor calidad al reducir las interferencias entre otros usuarios. Mediante el *Beamforming* las señales se rastrean y se envían exactamente al punto donde se desea para ello se usan diferentes algoritmos de formación de haces. En la Figura 11 se puede ver como la estación base proporciona cobertura al terminal móvil adaptando el patrón de radiación. A esto se le añade el uso del sistema MIMO Masivo, es decir, el uso de un mayor número de antenas, esto permite a la estación base seleccionar la antena que mejores prestaciones vaya a otorgar al terminal conectado [17].

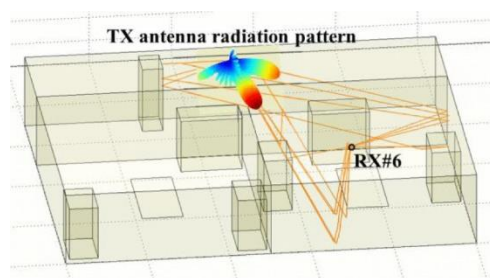


Figura 11. Demostración de Beamforming 5G. Fuente: [22]

### 4) Celdas pequeñas

El uso de banda milimétrica conlleva problemas de cobertura como se ha comentado anteriormente, a no ser que se coloquen las celdas a una distancia muy corta entre ellas. Esto es lo que se pretende diseñar en 5G, la colocación de celdas a menos de 100 metros distancia donde cada celda dará cobertura a pequeñas áreas geográficas. Cada una de estas celdas estaría formada por una estación base que impediría la pérdida de señal en cualquier lugar, se podrían poner en lugares minúsculos que requirieran de una mayor cobertura de zona [20]. Según el tamaño de la celda y de la zona donde deben otorgar cobertura, las celdas se clasifican en metroceldas, picoceldas y femtoceldas [17], las características de estas celdas vienen recogidas en la Tabla 3.

| <b>Tipo</b>       | <b>Potencia (vatios)</b> | <b>Radio de cobertura (metros)</b> | <b>Capacidad (usuarios)</b> | <b>Aplicación</b> |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <i>Metrocelda</i> | 2 a 5                    | 500 a 2500                         | >200                        | Outdoor           |
| <i>Picocelda</i>  | 0.25 a 1                 | 100 a 250                          | 32 a 64                     | Indoor            |
| <i>Femtocelda</i> | 0.1                      | 10 a 50                            | 8 a 16                      | Indoor            |



Tabla 3. Características de la metroceldas, picoceldas y femtocelda. Fuente: [17]

Se podrían numerar algunas tecnologías que también será claves del 5G como son la tecnología *Full Duplex*, la comunicación por luz visible y la transmisión del enlace ascendente y del descendente [20], pero se ha considerado que las anteriores tecnologías son las más importante para el desarrollo y buen funcionamiento del 5G [17].

## Arquitectura y diseño del 5G

Dentro de la arquitectura del 5G se pueden distinguir dos partes bien diferenciadas, la red de acceso o también llamada como RAN y la red central o también llamada CORE. La RAN se encarga de las funciones relacionados con la parte radio, ya sea la gestión de los recursos eléctricos, protocolos de transmisión, los sistemas de codificación y otras tareas relacionadas con la parte de las antenas. Por otra parte, el CORE se encarga de aquellas funciones no relacionadas directamente con el acceso radioeléctrico, donde se podría destacar la autenticación o el establecimiento de las conexiones de extremo a extremo [23].

### Red Central – CORE

La parte CORE se encarga del procesamiento de los datos lo cual es vital en el 5G. La tecnología 5G se ha diseñado para hacer frente a una alta demanda de peticiones de acceso a multitud de dispositivos que requieren de su uso. Por consiguiente, las funciones que principalmente desarrolla son la seguridad AAA (autenticación, autorización y contabilización), administración de los terminales móviles, calidad de servicios (QoS), direccionamiento, servicios de emergencia, entre otras [24]; en la Figura 12 se pueden ver las áreas funcionales de la parte CORE del 5G.

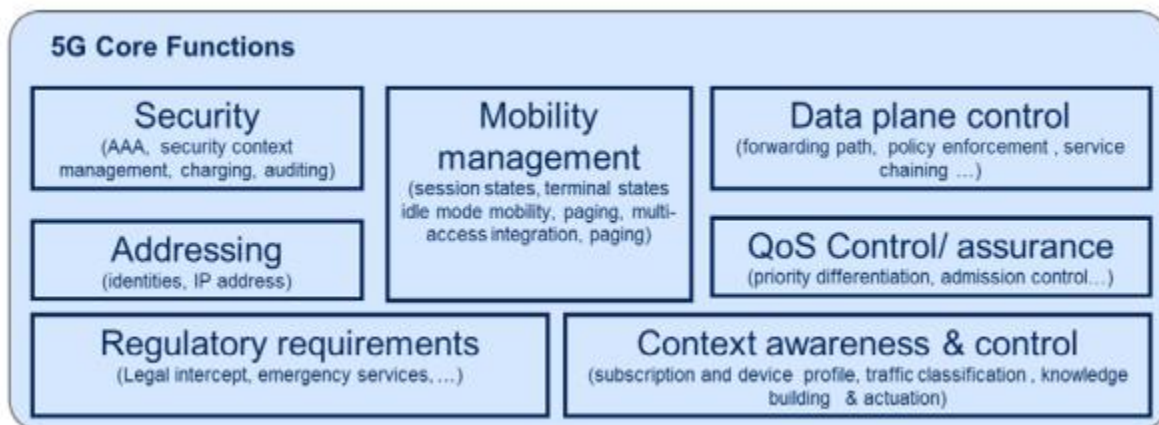


Figura 12. Áreas funcionales del CORE Fuente: [24]

Existen dos componentes de vital importancia que se pueden ver la Figura 13, son la UPF cuya función es la de plano de usuario y transporta el tráfico de datos IP entre el equipo de usuario y las redes externas y el AMF (función de gestión del acceso y movilidad) que actúa como punto de entrada para la conexión de equipo de usuario [25].

## Radio Access Network (RAN)

Dentro de la RAN, se pueden distinguir dos tipos de nodos conectados a la red central 5G: un gNB que da servicios a los dispositivos NR está vinculado con *el Stand-alone* (SA) o un ng-eNB que da servicios a los dispositivos LTE relacionado con el *Non-standalone* (NSA). La primera versión de NR está vinculado a EPC la cual funciona en modo no autónomo. Los conceptos que se van a definir a continuación son similares se tenga un plano de control de NR o de LTE.

El gNB o ng-eNB en LTE es el responsable de las funciones de radio que ocurren en una o varias celdas. Se encarga de la gestión de los recursos radioeléctricos, el control de admisión, el establecimiento de la conexión, el enrutamiento de los datos de plano de usuario al UPF y de la información del plano de control al AMF, y la gestión del flujo de QoS [23].

Una estación base es una implementación de un gNB. Un gNB, como se puede ver en la Figura 13, se puede conectar a varias UPFs/AMPFs para compartir la carga y la redundancia. Xn es la interfaz utilizada para conectar entre sí los gNB y puede utilizarse para la gestión de los recursos radioeléctricos. La interfaz F1 se encarga de dividir el gNB en dos componentes, una unidad central (gNB-CU) y una o más unidades distribuidas (gNB-DU) como se puede visualizar en la Figura 13. La interfaz Uu es el enlace entre el gNB y el dispositivo [23].

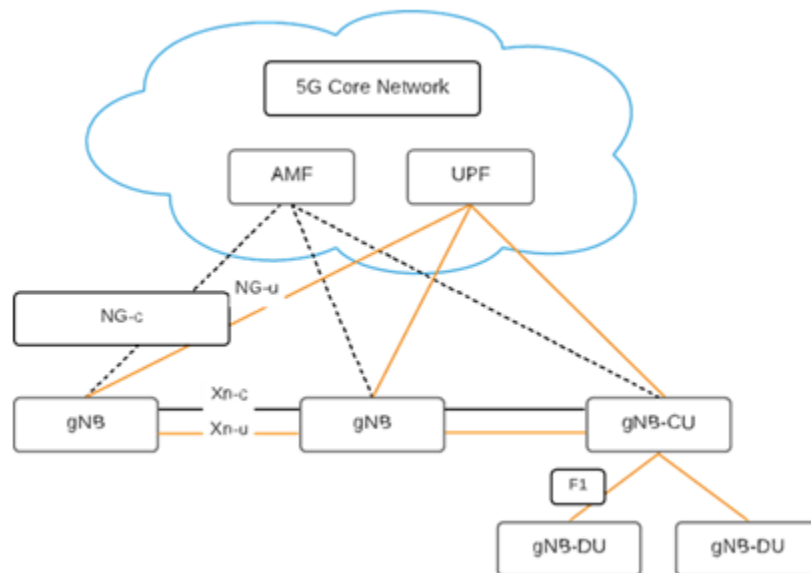


Figura 13. Arquitectura de red 5G. Fuente: [23]

## Proceso de Handover

Se define el *handover* como un proceso el cual se utiliza para transferir una llamada en cursos de voz o datos entre celdas. Este proceso se lleva a cabo por parte de un equipo de usuario (UE) a una red de acceso (RAN). Los motivos por los cuales se puede llevar a cabo un *handover* son diversos, entre los cuales se puede encontrar reducir la carga de una celda porque muchos usuarios están conectados a la red o porque se quiere mejorar la calidad de enlace al equipo de usuario cuando este se está moviendo y

avanzando hacia otra celda que le puede proporcionar un mejor servicio. En la Figura 14 se puede visualizar los componentes que forma parte de un *handover* en 5G.

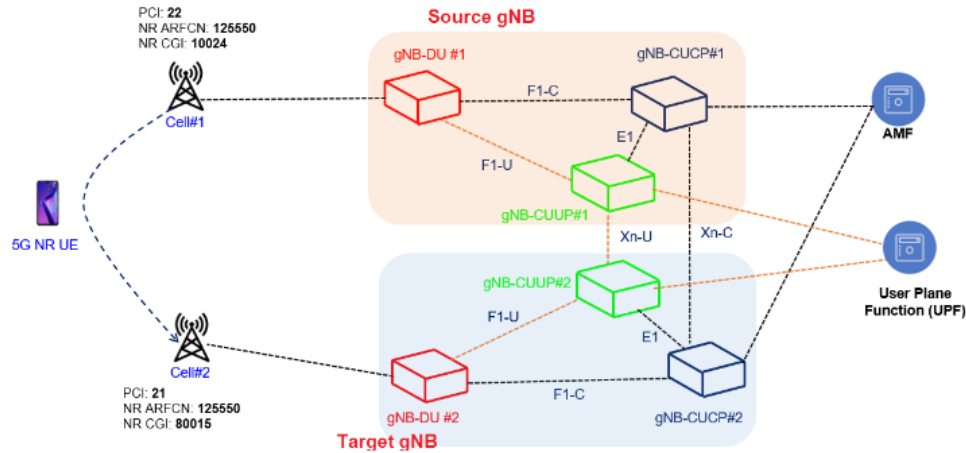


Figura 14. Proceso de handover en 5G. Fuente: [26]

El proceso de *handover* se puede llevar a cabo mediante el interfaz Xn comentado anteriormente o mediante el protocolo N2. En este último caso no existe conectividad directa entre las dos RAN y se hará uso del AMF explicado anteriormente para poder llevar a cabo el *handover* como se muestra en la Figura 15 [27]. Asimismo, se pueden identificar tres procesos de *handover*: el *handover* intra-5G basado en Xn, el *handover* intra-5G basado en N2 y el *handover* inter-5G.

El proceso de *handover* intra-5G se produce directamente entre dos celdas vecinas, donde cada traspaso está basado en Xn y consta de tres procesos [27]:

- 1) La celda de referencia a la cual el equipo de usuario está conectado envía a la celda vecina a la que se va a realizar el traspaso una clave de inicio de sesión.
- 2) La celda de destino y el equipo de usuario se comunican a través de la clave de inicio de sesión.
- 3) La celda de destino y el equipo de usuario quedan conectados liberando la celda de referencia a la cual estaba conectado el equipo de usuario en un primer momento.

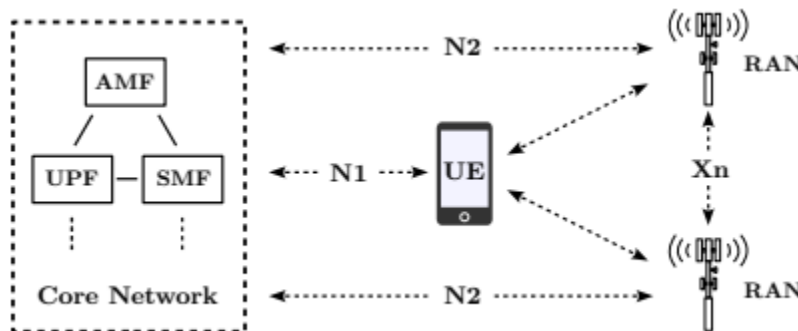


Figura 15. Proceso de handover en 5G. Fuente: [27]

El otro *handover* intra-5G usa la interfaz N2 donde las celdas de referencia y la celda de destino no tienen conectividad entre ellas. De la misma forma que el *handover* anterior, el traspaso de equipo de usuario entre ambas celdas es negociado entre celda de referencia y celda vecina de destino, pero en este caso se usa como intermediario la parte CORE [27].

Por último, se tiene el *handover* inter-5G. El número de equipos de usuario que utilizan 5G crecerá progresivamente, pero hasta entonces LTE seguirá siendo la tecnología dominante. Por ello, es necesario poder transmitir una llamada de voz o datos entre diferentes tecnologías sin que haya una caída. Al igual que en el *handover* intra-5G, puede ser que las celdas tengan comunicación directa y se utilizará un interfaz similar a Xn o no, usando entonces un interfaz parecido a N2, pero el procedimiento es similar incorporando elementos de red de LTE.

## 5G Physical Cell ID

Cada celda que compone la red de 5G se encuentra identificada con un PCI (*Physical Cell ID*). La forma de asignar estos identificadores a las diferentes celdas es muy similar a cómo se hace en LTE o a los códigos de codificación usados en UMTS. La principal diferencia entre los PCIs de LTE y 5G es el número de identificadores que existen para su uso. En 5G existen 1008 valores mientras que en LTE existen 504.

Cada PCI se forma a de dos partes: el PSS (*Primary Synchronization Signal*) y el SSS (*Secondary Synchronization Signal*).

El PSS puede tomar 3 valores el 0, 1 y 2; mientras que el SS puede tomar 336 valores, desde el 0 al 335. El PCI que adquiere una celda se forma con la siguiente fórmula:

$$PCI = 3 \cdot SSS + PSS$$

*Ecuación 3. Formación de un PCI. Fuente: [28]*

De aquí podemos obtener el número total de PCIs calculado el valor máximo que puede tomar:

$$PCI_{MÁX} = 3 \cdot 335 + 2 = 1007$$

*Ecuación 4. Valor PCI máximo. Fuente: [28]*

Lo que lleva a concluir que una celda puede tomar 1008 valores de PCI comprendidos entre 0 y 1007 lo cual se ilustra en la Figura 16.

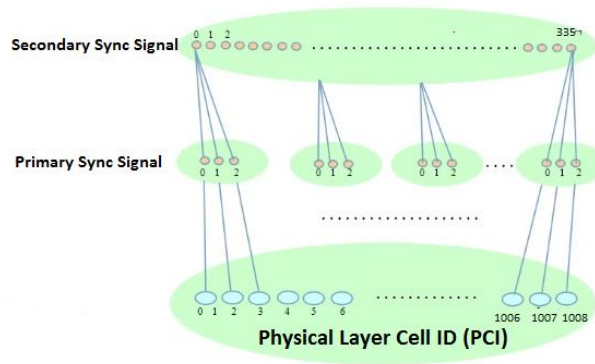


Figura 16. Planificación PCI. Fuente [28]

## Colisión y Confusión de PCI

En la planificación de red de la tecnología 5G se deben tener en cuenta dos situaciones que pueden provocar conflictos al equipo de usuario en el momento del *handover*. Estos conflictos conducen, de no ser resueltos, a la caída de la llamada ya sea de datos o de voz. Esta caída de la llamada se produce cuando el equipo de usuario se conecta a una celda errónea debido a que la celda a la que se tiene que conectar y realizar el *handover* comparte el mismo PCI que la celda a la que erróneamente se ha conectado.

Existen dos tipos de conflictos que provocan esta caída en la llamada: la confusión por PCI y la colisión por PCI.

### Confusión por PCI

Se produce cuando el equipo de usuario se dispone a realizar una *handover* a una celda vecina dentro de su campo de actuación. Erróneamente en la planificación de la red se han identificado dos celdas con el mismo PCI que se encuentran dentro del marco de actuación de la celda donde actualmente se encuentra el equipo de usuario conectado. En el momento de llevar a cabo el *handover*, el equipo terminal no sabe a qué celda conectarse puesto que ambas tienen la misma identificación. En este escenario pueden ocurrir dos opciones, que se conecte a la celda correcta y la comunicación prosiga o que se conecte a la celda errónea y la comunicación termine cayendo. En la Figura 17 se puede visualizar el conflicto tratado.

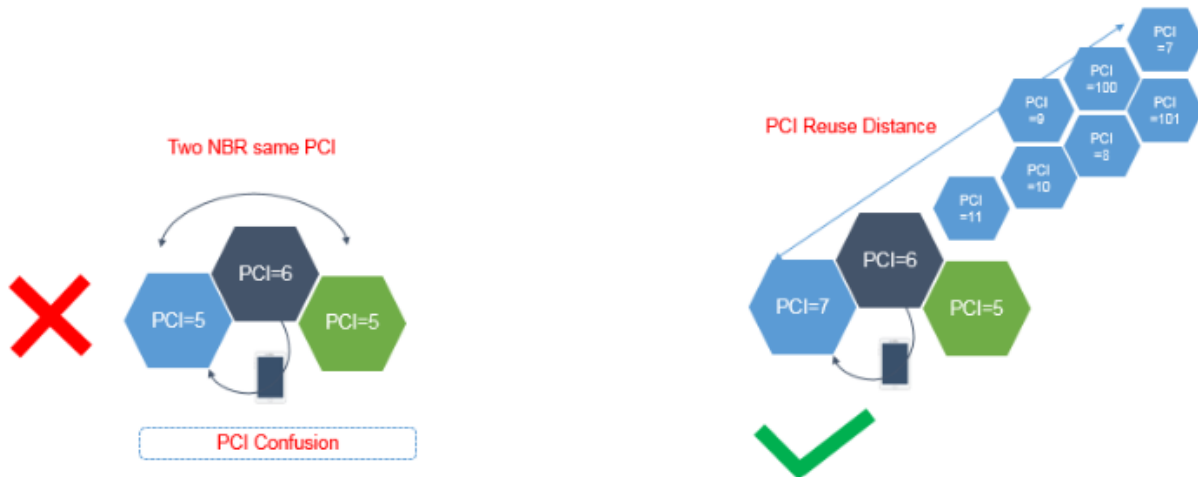


Figura 17. Confusión por PCI y correcta planificación. Fuente: [28]

## Colisión por PCI

Se produce cuando el área de cobertura de la celda donde se encuentra conectado el equipo de usuario comparte el mismo PCI que el área de otra celda que tiene el mismo PCI o cuando dos celdas vecinas servidoras comparten área de cobertura teniendo el mismo PCI. Esto genera grandes interferencias llegando a producir la caída de la llamada. Los diferentes casos que se pueden dar son definidos posteriormente en el desarrollo y análisis de los diferentes casos de choque de PCI entre celdas. En la Figura 18 se ilustra un caso de colisión por PCI donde dos celdas vecinas servidoras tienen solapadas áreas de coberturas cuyo PCI es el mismo.

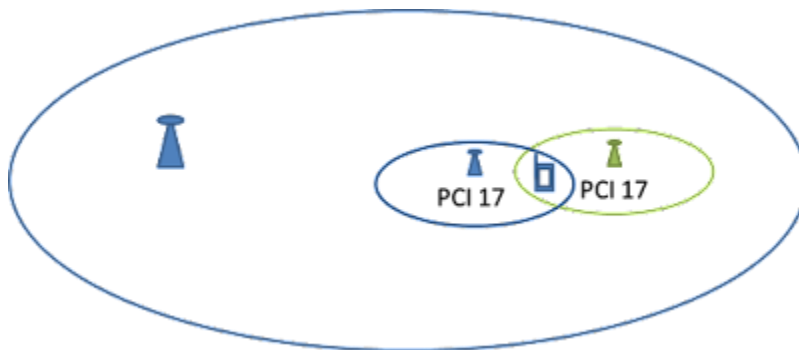


Figura 18. Ejemplo colisión por PCI. Fuente: [29]

Para evitar este par de conflictos se debe dejar una distancia suficiente de separación entre celdas que tienen el mismo PCI, es decir, el reúso de los PCI se encuentra limitado. Esta distancia dependerá del tipo de celda tratado, así como de otras variables como la potencia y la frecuencia, por tanto, será de vital importancia determina la distancia óptima.

## 4. Descripción detallada de la solución adoptada

El trabajo a desarrollar consistirá en el procesado de la topología de red 5G, facilitada por uno de los clientes de la compañía EXFO, con el objetivo de detectar posibles colisiones entre los rangos de cobertura de cada una de las celdas que componen la red. La finalidad será evitar caídas en las conexiones de voz y/o datos cuando el usuario final realice un *handover* entre los rangos de cobertura de las celdas.

Se emplearán las bases de datos proporcionadas por el cliente las cuales han sido ordenadas en tablas que serán analizadas mediante el sistema de gestión de bases de datos “Microsoft SQL Server”. Para el procesado de las tablas se realizará una *query* en lenguaje SQL donde realizarán consultas constantes a tablas de topología de red, *footprints* de los rangos de cobertura, así como los *clashes* detectados por el programa para verificar que son correctos o detectar posibles errores.

En la *query* se establecerán relaciones entre las topologías de las celdas y los *footprints*, y mediante la implementación de funciones que calcularán la distancias entre celdas, la orientación de estas, así como el solape de los *footprints*, se obtendrán las colisiones de cobertura entre las celdas 5G.

EXFO es una compañía especializada en ofrecer pruebas para solucionar conflictos surgidos tanto en fibra óptica como en redes de servicios de telecomunicaciones de los diferentes operadores y fabricantes de equipos las cuales son monitorizadas y analizadas por los expertos analistas. Actualmente tienen sede en Canadá, aunque opera en regiones de todo el mundo y se ha posicionado como número uno en ofrecer test de prueba para fibra óptica.

Se deben tener en cuenta que:

- Los resultados arrojados por el algoritmo no están actualizados a la fecha de ejecución de este. Se usará una base de datos que contengan los recursos mencionados anteriormente (*footprints*, rangos de cobertura, etc.) para llevar a cabo el diseño del algoritmo. No obstante, la finalidad de este trabajo es poder automatizar el proceso para poder lanzar este algoritmo o *query* en el momento que sea necesario.
- Al igual que ocurre con el momento el que se lanza la *query*, la topología de red usada para este trabajo pertenece a un determinado cliente. Por consiguiente, cuando se desee cambiar de cliente se deberá ajustar algunos parámetros de la topología de red 5G para poder ejecutar la consulta.
- La estructura del algoritmo pretende ser un algoritmo de detección de los problemas de colisiones de PCI similar a la empleada para la tecnología LTE. Por tanto, los escenarios de choque que se verán han sido adaptados a la tecnología 5G provenientes de LTE.

## Explicación de las columnas contenidas en las tablas

En primer lugar, se procede a explicar cuáles son las columnas que serán utilizadas durante el desarrollo del código programado.

| Nombre de la columna | Descripción  |
|----------------------|--|
| <b>ID</b>            | Dato de tipo INT cuyo fin es identificar numéricamente las diferentes celdas de la topología del cliente   |
| <b>Ref_ID</b>        | Dato de tipo INT que al igual que el dato “ID” identifica numéricamente las celdas de la topología cuando dichas celdas tienen la consideración de celda de referencia                 |
| <b>Neigh_ID</b>      | Dato de tipo INT que al igual que el dato “ID” identifica numéricamente las celdas de la topología cuando dichas celdas tienen la consideración de vecinos de las celdas de referencia |

Tabla 4. Descripción de las columnas del código programado. Fuente: Elaboración propia

Cada una de las columnas tratadas tiene un comportamiento similar a las expuestas anteriormente, es decir, existe una denominación que es usada genéricamente antes de comenzar a establecer las vecindades de celdas (en el caso anterior sería “ID”). Además, una vez establecidas las relaciones de vecindad existirán celdas de referencias que tendrán asociadas la abreviatura “Ref” separadas por una barra baja (“\_”) de la denominación usada para dicha columna (en el caso anterior sería “Ref\_ID”). De forma similar ocurre en el caso de que, tras establecer las relaciones de vecindad, la celda tratada sea una celda vecina (en el caso anterior sería “Neigh\_ID”). Aclarado este concepto se van a agrupar las columnas que referencien a lo mismo, pero sean usadas en lugares a lo largo de la *query* y solamente se pondrá la denominación principal de la columna, sin prefijos (en el caso anterior se pondría “ID”).

| Nombre de la columna | Descripción  |
|----------------------|--|
| <b>CellName</b>      | Identifica el nombre aportado por el cliente a cada celda. A diferencia del “ID”, esta columna es del tipo “VARCHAR” |
| <b>N_CGI</b>         | Identifica la celda mediante otro identificador, el CGI ( <i>Cell Global Identity</i> )                              |
| <b>GNodeB_Id</b>     | Columna de tipo INT cuyo fin es identificar numéricamente el gNodeB asociado a la celda                              |
| <b>DL_NARFCN</b>     | Dato de tipo INT que expresa la frecuencia de bajada (DL: <i>DownLink</i> ) para 5G de la celda                      |
| <b>UL_NARFCN</b>     | Dato de tipo INT que expresa la frecuencia de subida (UL: <i>UpLink</i> ) para 5G de la celda                        |
| <b>Latitude</b>      | Dato de tipo FLOAT que muestra la latitud en grados con respecto del paralelo principal (0°).                        |
| <b>Longitude</b>     | Dato de tipo FLOAT que muestra la longitud en grados con respecto del meridiano de                                   |



|                     |   |
|---------------------|---|
|                     | Greenwich (0°).   |
| <b>NRPCI</b>        | Columna de tipo INT que identifica el PCI de 5G (NR) asociado a la celda.   |
| <b>Azimuth</b>      | Dato de tipo FLOAT que muestra la orientación sobre la superficie terrestre   |
| <b>ssbFrequency</b> | <i>Synchronization Signal Block Frequency</i> . Identificar la frecuencia de sincronización de la celda                                   |
| <b>Distance</b>     | Dato de tipo FLOAT que muestra distancia calculadas entre la celda de referencia y la celda vecina. La distancia se muestra en kilómetros |
| <b>Polygon</b>      | Dato de tipo GEOGRAPHY que indica el área de cobertura de la celda  |

Tabla 5. Descripción de las columnas del código programado. Fuente: Elaboración propia

Como se verá posteriormente la mayoría de estas columnas provienen de la topología de red proporcionada por el cliente, si bien es cierto que no todas las columnas son de gran importancia para el desarrollo de la *query*, para realizar un trasvase de los ficheros de topología proporcionado por el cliente al entorno de trabajo “Microsoft SQL Server” es necesario crear todas las columnas que el cliente aporta. En general, todos los clientes proporcionan las mismas columnas, pero en caso de querer ejecutar la *query* de otro cliente, es un dato a tener en cuenta. De entre todas las columnas, las indispensables que debe proporcionar el cliente son: “CellName”, “Latitude”, “Longitude”, “NRPCI” y “Polygon”.

## Explicación de las tablas utilizadas de la DB

Primeramente, aclarar que algunas tablas han sido replicas directamente de tablas proporcionadas por el cliente con la finalidad de evitar contaminar las tablas originales.

Las tablas tienen el prefijo “dbo” que significa “database owner”, lo que indica que las tablas han sido creadas por usuario que tiene permisos implícitos para realizar todas las actividades en la BD. De tal modo que el nombre de las tablas tiene la siguiente composición “[dbo].[NombreTabla]”, pero se ha decidido denominar a las tablas por el nombre único durante la explicación de la *query*, quedando el ejemplo anterior como “NombreTabla”.

Para el cotejamiento de topología de red proporcionada por el cliente y la topología de red física que aparece en la base de datos se han usado o creado las siguientes tablas:

| Nombre de la columna           | Descripción   |
|--------------------------------|---|
| <b>networkTopologyNR_Cells</b> | Tabla alojada en la DB del cliente que contiene las celdas que componen la red física del cliente.  |
| <b>physical_Topology</b>       | Contiene la topología de red física que se encuentra en la DB, es una copia de la tabla “networkTopologyNR_Cells” proporcionada por el cliente. |
| <b>network_Topology_NR</b>     | Contiene la topología de red física aportado por el cliente en un archivo de texto. Se debe hacer un trasvase del fichero de texto a la tabla.  |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>physical_Topology_AUX</b>          | Contiene la unión de las tablas de topología de red de la DB (“physical_Topology”) y la aportada por el cliente (“network_Topology_NR”).                                |
| <b>Physical_Topology_AUX_2</b>        | Trasvase de la tabla “physical_Topology_AUX” de las celdas que tengan los campos de “Latitude” o “Longitude” nulos.   |
| <b>network_Topology_NR_AUX</b>        | Trasvase de la tabla “network_Topology_NR” de las celdas que no tengan los campos de “CellName” o “N_CGI” nulos.  |
| <b>network_Topology_NR_AUX_2</b>      | Unión de las celdas de la tabla “physical_Topology_AUX_2” que contiene campos en blanco con la tabla “network_Topology_NR_AUX” que rellenará los campos vacíos.         |
| <b>topology_Union</b>                 | Unión de la tabla “physical_Topology_AUX” con la tabla “network_Topology_NR_AUX_2”. Contiene las celdas sobre las que se detectará los errores de confusión y colisión. |
| <b>networkTopologyNR_NR_Relations</b> | Tabla alojada en la DB del cliente que contiene las relaciones de vecindad de las celdas de la topología  |
| <b>neighbouring_cells</b>             | Unión de la tabla “networkTopologyNR_NR_Relations” que contiene las vecindades y la tabla “topology_Union” que contiene la información de las celdas.                   |
| <b>neighbouring_cells_10</b>          | Contiene solo aquellas relaciones de vecindad cuyas celdas disten menos de 16 km.   |
| <b>footprint_LocationInfo</b>         | Tabla alojada en la DB del cliente que contiene las áreas de coberturas de las celdas que componente la red física del cliente.   |
| <b>antenna_footprint</b>              | Unión de la tabla “neighbouring_cells_10” junto con la tabla “footprint_LocationInfo”.  |

Tabla 6. Descripción de las tablas de utilizados en I. Fuente: Elaboración propia.

## Explicación de la unión topología física y la topología aportada por el cliente

Para el procesado de los diferentes casos de detección que se llevan a cabo en la *query* realizada es necesario previamente comparar la topología física de red existente en la DB y la proporcionada por el propio cliente. El objetivo es buscar posibles disparidades entre ambas fuentes de información que, lo ideal, deberían ser idénticas, pero es posible que hayan habido actualizaciones o nuevas incorporaciones de celdas a la topología de la red del cliente. Es por tanto necesario unificar la información de ambas fuentes con el fin de tener datos coherentes o de completar ciertas celdas que carecen de algún tipo de información.

Durante el proceso de las tablas de topología se ha comprobado que las tablas proporcionadas por el cliente mediante un fichero contienen información que complementan los campos de las celdas que aparecen en la topología de la DB.

Primeramente, se realiza un trasvase de la información proporcionada en la DB y de la información proporcionada mediante un documento de texto por el cliente en las tablas “Physical\_Topology” y “Network\_Topology\_NR” respectivamente. A continuación, se crea la tabla “Physical\_Topology\_AUX” que contendrá aquellos campos de la tabla “Physical\_Topology” que no tenga los campos “CellName” y “N\_CGI” a nulo porque son valores que posteriormente serán necesarios. De forma continua, de la tabla anterior se cogen las celdas que tienen los campos de “Latitude” o “Longitude” nulos porque son valores que se podrán rellenar con la topología contenido en el fichero de texto y se introducen en la tabla “Physical\_Topology\_AUX\_2”.

De la tabla “Network\_Topology\_NR” se seleccionan los valores que contengan el “CellName”, “N\_CGI”, “Latitude”, “Longitude” y “Azimuth”; lo demás valores se desechan puesto que serán los valores que completarán los campos de las celdas de “Physical\_Topology\_AUX\_2” que están nulos. De esta forma se crea una nueva tabla “Network\_Topology\_NR\_AUX\_2”.

Los campos de las celdas de la tabla “Physical\_Topology\_AUX\_2” que están nulos se rellenan con los campos de la tabla creada anteriormente “Network\_Topology\_NR” donde se usará el “CellName” y el “N\_CGI” como elementos comunes en ambas tablas para poder asociar dichas tablas. El motivo de elegir “CellName” y “N\_CGI” es porque, mediante un análisis previo de los datos se ha comprado que existían celdas que solo se podían identificar por su “CellName” o por su “N\_CGI” y como ambos valores son únicos de cada celda se ha decidido tomar ambos valores para poder rellenar un mayor número de celdas de la topología de red que se utilizará. Este proceso da lugar a la nueva tabla “Network\_Topology\_NR\_AUX\_2”.

Finalmente, tan solo queda unir la tabla “Physical\_Topology\_AUX” que contiene celdas con todas sus características rellenas y añadir las celdas que han sido rescatadas mediante el uso de la topología del fichero de texto proporcionados por el cliente que se encuentra en “Network\_Topology\_NR\_AUX\_2”. Creando, de esta forma la tabla “Topology\_Union”.

Llegado este punto, las tablas creadas anteriores a “Topology\_Union” son eliminadas por liberar espacio en la DB y no sobrecargar el sistema con información innecesaria.

Llegados a este punto, se usará la tabla “NetworkTopologyNR\_NR\_Relations” proporcionada por la base de datos para conocer las relaciones de vecindad establecidas. Para ello se rellenará el campo “Ref\_ID” y “Neigh\_ID” para identificar las celdas en las relaciones de vecinas y se completarán los campos de dichas celdas de la tabla “neighbouring\_cells” mediante la tabla “Topology\_Union” anteriormente creada que contiene todas las celdas de la que se tiene información y la tabla “NetworkTopologyNR\_NR\_Relations”. Para unir la información de ambas tablas se usará el campo “RefTopologyCellID” de la tabla “NetworkTopologyNR\_NR\_Relations” y “ID” de la tabla “Topology\_Union” como elemento unificador de ambas tablas ya que dicha columna identifica de la misma forma a las celdas. A la tabla “neighbouring\_cells” creada se la añade una nueva columna “Distance” que indicará la distancia en kilómetros de la celda de referencia y la celda vecina.

Para el cálculo de la distancia entre ambas vecinas ha sido usado el método Haversine. El método Haversine permite obtener la distancia entre dos puntos de una esfera, en este caso de la tierra a partir de su longitud y su latitud. Para ello se ha utilizado la siguiente formula [30]:

$$d = 2r \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\psi_2 - \psi_1}{2} \right)} \right)$$

Ecuación 5. Distancia entre celdas mediante el método Haversine. Fuente: [30]

donde:

r: radio de la tierra en km (6371000km)

$\phi_2$ : latitud de la celda vecina en radianes

$\phi_1$ : latitud de la celda de referencia en radianes

$\psi_2$ : longitud de la celda vecina en radianes

$\psi_1$ : longitud de la celda de referencia en radianes

Posteriormente ha sido trascrita en lenguaje SQL de la siguiente forma:

```
Distance = 2 * 6371000 * asin (sqrt(power(sin(PI()*(NT2.Latitude - NT1.Latitude )/(180*2)),2)+(cos(NT1.Latitude *PI()/180)*cos(NT2.Latitude*PI()/180)*power(sin(PI()*(NT2.Longitude - NT1.Longitude)/(180*2)),2))))
```

Una vez calculada la distancia se procede a eliminar aquellas relaciones de celdas cuya distancia supere un cierto valor dado. La distancia de cobertura de las celdas 5G depende de varios factores como pueden ser la frecuencia usada (a mayor frecuencia, menor longitud de onda), los puntos de medición, la existencia de barreras o de visión directa, la climatología del lugar, entre otros. Por este motivo se ha decidido buscar el valor más limitante que puede existir para celdas 5G. Los despliegues que se están llevando a cabo actualmente por parte de los operadores del 5G hacen uso de las bandas aconsejadas por 3GPP que son 3,4-3,8 GHz y 25,5-27 GHz. Para esto valores de frecuencia se tienen los siguientes tipos de celda:

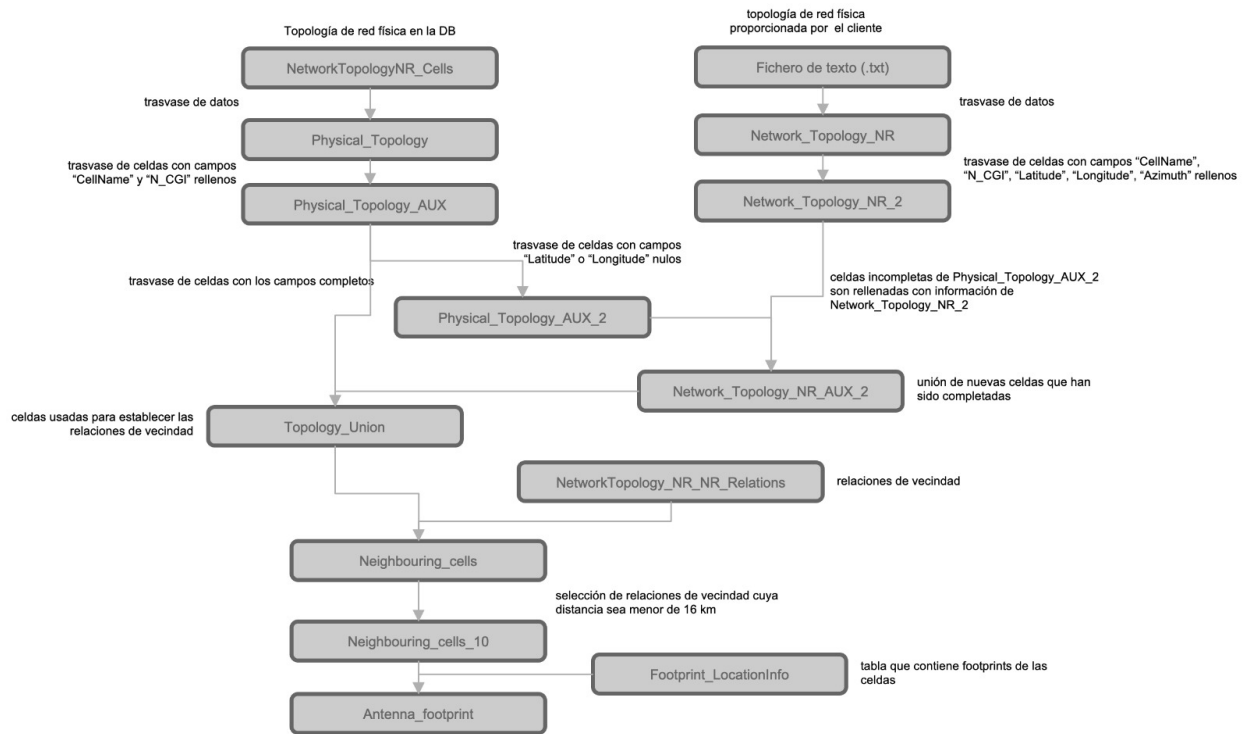
| Tipo de Celda | Potencia de Transmisión | Rango de Celda | Localización     |
|---------------|-------------------------|----------------|------------------|
| Macrocelda    | 10...50 W               | 8...30 km      | Outdoor          |
| Microcelda    | 1...10 W                | 0,2...2 km     | Outdoor / indoor |
| Picocelda     | 0,25...1 W              | 0,1...0,2 km   | Outdoor / indoor |
| Femtocelda    | 0,001...0,25 W          | 0,01...0,1 km  | Indoor           |

Tabla 7. Tipos de celdas y características. Fuente: [31]

Para los resultados obtenido se ha decidido elegir un rango de cobertura por celda de 8 km, que es el radio mínimo de cobertura para un macrocelda. Este valor puede ser cambiado antes de ejecutar el código. Si el rango de cobertura por celda es de 8km, se tomará el doble de dicha distancia para establecer la distancia mínima aceptable entre celdas para que no ocurra ningún tipo de error con los PCI de las celdas. Por tanto, se seleccionarán aquellas relaciones de celdas que disten menos de 16km de la tabla anterior “neighbouring\_cells” y se anotarán en la nueva tabla “neighbouring\_cells\_10”.

El último paso antes de entrar a explicar los casos de colisión y confusión es asociar a cada una de las celdas su *footprint* o área de cobertura de la celda para ello se procede a crear la tabla “antenna\_footprint” que contiene todos los campos de la tabla anterior “neighbouring\_cells\_10” y además se rellena las variables “Polygon” tanto de la celda de referencia como de la vecina a partir de la tabla proporcionada en la DB con nombre “Footprint\_LocationInfo”. Se ha tomado el valor de “ID” como valor de unión para ambas tablas. La tabla “Footprint\_LocationInfo” contenía diferentes áreas de cobertura según la potencia que llegaba al límite de dichas áreas para una misma celda, por este motivo se ha decidido escoger el área de cobertura que será aquella que proporciona un nivel de señal de -125dBm.

Por último, se eliminan todas las tablas creadas excepto “antenna\_footprint”.



Esquema 1. Unión topología física y la topología aportada por el cliente. Fuente: Elaboración propia

## Explicación de los casos:

### CASO 1: Celda de referencia con respecto a celda vecina

Celda de referencia (R) y celda vecina (V) comparten mismo PCI.



*Caso 1. Celda vecina con respecto a celda servidora. Fuente: Elaboración propia*

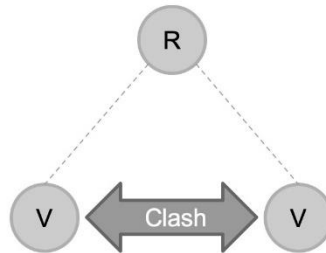
### DESARROLLO DEL CASO:

Se seleccionan aquellas relaciones de vecindad provenientes de la tabla “antenna\_footprint” donde las columnas que contienen los PCI de la celda de referencia y de la celda servidora contengan el mismo valor.

No es necesaria la creación de ninguna tabla, el output de la *query* muestra las relaciones de vecindad donde la celda de referencia y la celda servidora tienen el mismo PCI.

### CASO 2: Celda servidora con respecto a celda servidora

Dos o más celdas vecinas (V) de una misma celda de referencia (R) comparten mismo PCI.



*Caso 2. Celda vecina con respecto celda vecina. Fuente: Elaboración propia*

### EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la columna | Descripción   |
|----------------------|---|
| caso2_neigh          | Contendrá las celdas vecinas cuyas celdas servidoras tengan el campo “Ref_ID” igual |

|                       |  |
|-----------------------|--|
|                       | al valor de @i_2   |
| <b>case2_distinct</b> | Escoge de la tabla “case2_neigh” aquellas celdas vecinas sin repeticiones eliminando así las celdas vecinas duplicadas |
| <b>case2</b>          | Contendrá las celdas detectadas por el algoritmo que comparten un mismo PCI  |
| <b>case2_detected</b> | Unión de las parejas de celdas detectadas en la tabla “case2” en una fila  |

Tabla 8. Explicación de las tablas del caso 2. Fuente: Elaboración propia

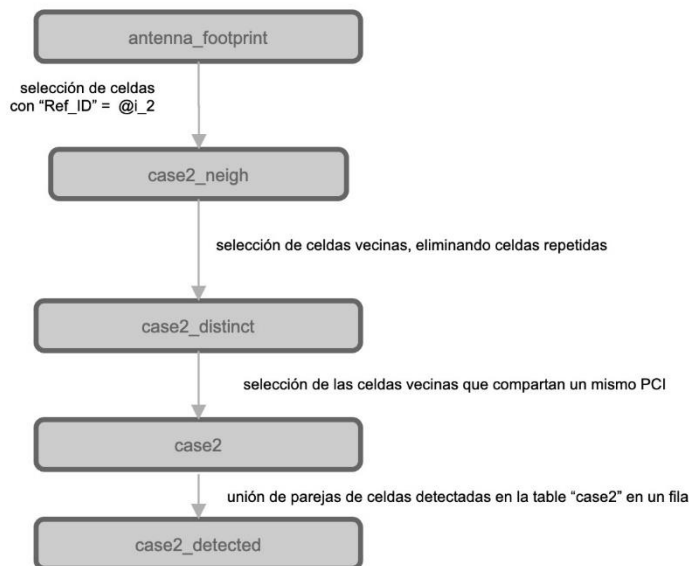
## DESARROLLO DEL CASO:

Para la selección de cada una de celdas de referencias incluidas en la tabla “antenna\_footprint” se deberá recorrer mediante un bucle cada uno de los valores que puede tomar la columna “Ref\_ID”. La variable @i\_2 será la que marque el valor de la celda de referencia tratado.

Seleccionado un valor de @i\_2, se insertan en la tabla “case2\_neigh” todas las celdas vecinas en cuya relación de vecindad el “Ref\_ID” sea del valor @i\_2. A continuación, se eliminan las celdas vecinas repetidas creando la nueva tabla “case2\_distinct” que solo tendrá celdas diferentes.

Finalmente, se insertarán en la tabla “case2” aquellas celdas vecinas que compartan un mismo PCI. Para ello, previamente se deberá comprobar qué valores PCI son repetidos y a continuación ver las celdas que los contiene. Dichas celdas serán anotadas en la tabla “case2” si no han sido previamente incluidas. El proceso se repetirá hasta haber recorrido todas las celdas vecinas de la tabla proporcionada por el cliente “antenna\_footprint”.

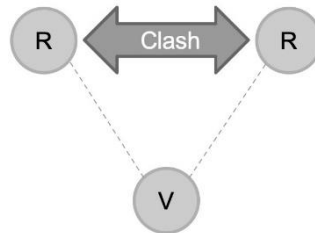
Finalmente, se eliminan todas las tablas creadas excepto “case2” que será usada para unificar aquellas parejas de celdas en una misma fila que comparten el mismo PCI, siempre y cuando su “Ref\_ID” sea diferente puesto que de ser así se trataría de la misma celda. La tabla que contendrá las relaciones de vecinas en una misma fila se denomina “case2\_detected”. El proceso se puede observar de forma gráfica en el Esquema 2.



Esquema 2. Celda servidora con respecto a celda servidora. Fuente: Elaboración propia

### CASO 3: Celdas servidoras con respecto a celda de referencia

La celda de referencia comparte mismo PCI con otra celda de referencia siendo ambas vecinas de una celda vecina en común.



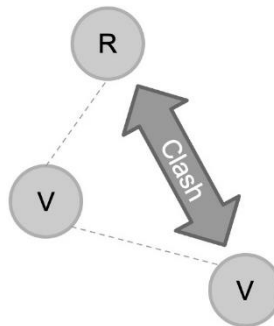
*Caso 3. Celdas servidoras con respecto a celda de referencia. Fuente: Elaboración propia*

#### DESARROLLO DEL CASO:

El caso 3 se asemeja al caso 2 pero en este escenario se analizan dos celdas de referencia que comparten un mismo PCI siendo vecinas de una misma celda vecina. Las tablas que contienen las relaciones de vecindad de las celdas proporcionadas por el cliente incluye para cada pareja de vecinas dos relaciones de vecindad, donde cada celda actúa en un escenario como celda de referencia y en el otro como celda vecina. Es decir, para cada pareja celda, en el DB del cliente existen dos relaciones identificadas donde en una relación una celda actúa como referencia y la otra como servidora y en la otra relación se cambian los roles prefijados. Por este motivo, no es necesario desarrollar el caso 3 puesto que el caso 2 ya detectará los casos de confusión que se deberían detectar en el caso 3.

### CASO 4: Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel

La celda servidora de segundo nivel comparte mismo PCI que la celda de referencia.



*Caso 4. Celda de referencia con respecto a celda servidora de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia*

#### EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla | Descripción  |
|--------------------|--|
| <b>case4_ref</b>   | Contendrá una selección concreta de celdas cuyo “Ref_ID” sea el valor @i_4   |
| <b>case4_neigh</b> | Contendrá celdas con “Ref_ID” igual al valor de @i_4_2 siendo este valor tomado de uno de entre los posibles valores de la columna “Neigh_ID” de la tabla “case4_ref”. |



|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>case4_distinct</b> | Contiene la unión de las celdas de la tabla “case4_ref” y “case4_neigh” pero eliminando posibles repeticiones de una misma celda. |
| <b>case4</b>          | Contendrá las celdas detectadas por el algoritmo que comparten un mismo PCI.  |
| <b>case4_detected</b> | Unión de las parejas de celdas detectadas en la tabla “case4” en una fila.  |

Tabla 9. Explicación de las tablas del caso 4. Fuente: Elaboración propia

#### DESARROLLO DEL CASO:

Mediante el uso de un bucle se recorrerán todas las celdas de referencia identificadas en la tabla “antena\_footprint”. Seleccionada una celda de referencia se identificarán sus correspondientes celdas vecinas. Tanto la celda de referencia tratada como sus celdas vecinas serán insertadas en la tabla “case4\_ref”.

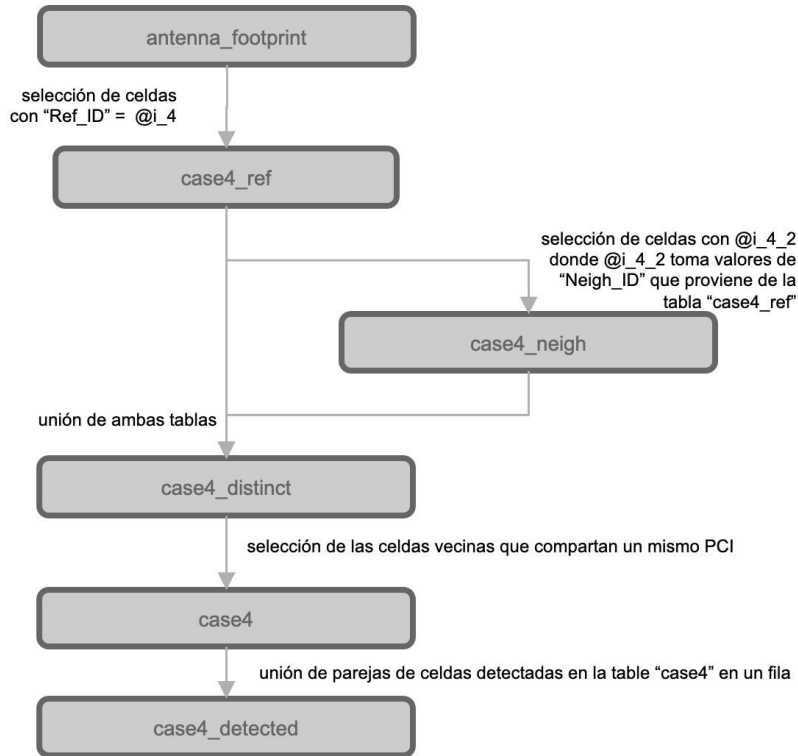
A continuación, se abre un nuevo bucle que tratará de identificar las celdas vecinas de segundo nivel, de las celdas vecinas identificadas anteriormente. Para ello, se selecciona una celda de vecina de la tabla creada anteriormente como “case4\_ref” la cual será tratada como celda de referencia y se buscan sus respectivas celdas vecinas formándose así las relaciones de segundo nivel. Estas relaciones de segundo nivel van insertadas en la nueva tabla “case4\_neigh”.

El siguiente paso es unir las celdas de referencia de la tabla “case4\_ref” con las celdas vecinas de una de las celdas vecinas seleccionadas de la tabla “case4\_neigh” en una tabla que tendrá el nombre de “case4\_distinct”. Además, se deben eliminar aquellas celdas que puedan estar repetidas, para ello en la selección de las celdas de las anteriores tablas se usará el comando “distinct”.

Finalmente falta por identificar los casos de confusión, para ello se recorre la columna que contiene el PCI de las celdas y se hace un conteo para cada PCI, si el resultado arroja un valor mayor a la unidad significa que hay al menos dos celdas con mismo PCI las cuales, en caso de no haberse detectado previamente por otra confusión, serán anotadas en la tabla “case4”.

El proceso continuará hasta haber recorridas todas y cada una de las celdas vecinas de la de referencias borrando en cada iteración las tablas asociadas a las relaciones de segundo nivel de vecindad las cuales son “case4\_distinct” y “case4\_neigh”; y cuando termine este sub-bucle, se borrará la tabla “case4\_ref” y se pasará a otra celda de referencia donde se continuará el proceso y se volverán a rellenar las tablas.

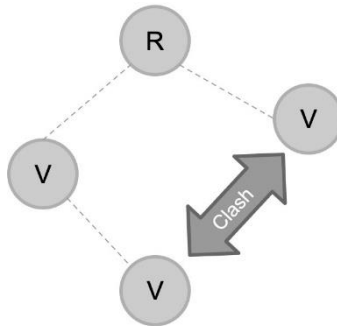
Finalmente, se eliminan todas las tablas creadas excepto “case4” que será usada para unificar aquellas parejas de celdas en una misma fila que comparten el mismo PCI, siempre y cuando su “Neigh\_ID” sea diferente puesto que de ser así se trataría de la misma celda. La tabla que contendrá las relaciones de vecinas en una misma fila se denomina “case4\_detected”. El proceso se puede observar de forma gráfica en el Esquema 3.



Esquema 3. Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

### CASO 5: Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel

La celda vecina de segundo nivel vecina de una celda vecina de la celda de referencia comparte PCI con otra celda vecina de la celda de referencia.



Caso 5. Celda de referencia con respecto a celda vecina de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

### EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla | Descripción   |
|--------------------|---|
| case5_ref          | Contendrá una selección concreta de celdas cuyo "Ref_ID" sea el valor @i_5. |
| case5_neigh        | Contendrá celdas "Ref_ID" igual al valor de @i_5 2 siendo este              |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
|                                       | valor tomado de uno de entre los posibles valores de la columna “Neigh_ID” de la tabla “case5_ref”.                               |
| <b>case5_neigh_union_second_neigh</b> | Unión de las tablas “case5_ref” y “case5_neigh”.  |
| <b>case5_distinct</b>                 | Contiene las mismas celdas que la tabla “case5_neigh_union_second_neigh” pero eliminando posibles repeticiones de una misma celda |
| <b>case5</b>                          | Contendrá las celdas detectadas por el algoritmo que comparten un mismo PCI.  |

Tabla 10. Explicación de las tablas del caso 5. Fuente: Elaboración propia

#### DESARROLLO DEL CASO:

Mediante el uso de un bucle se recorrerán una por una todas las celdas de referencia identificadas en la tabla “antena\_footprint”. Selecciona una celda de referencia se identificarán sus correspondientes celdas vecinas. Tanto las celdas de referencia tratada como sus celdas vecinas serán insertadas en la tabla “case5\_ref”.

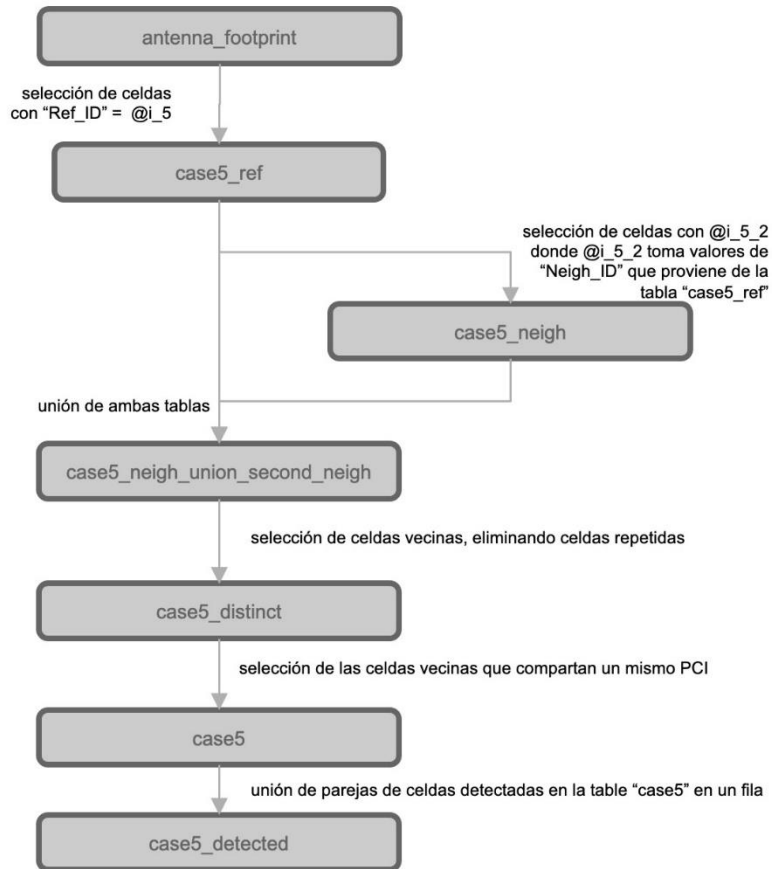
A continuación, se abre un nuevo bucle que tratará de identificar las celdas vecinas de segundo nivel de las celdas vecinas identificadas anteriormente. Para ello, se selecciona una celda de vecina de la tabla creada anteriormente como “case5\_ref” la cual será tratada como celda de referencia y se buscan sus respectivas celdas vecinas formándose así las relaciones de segundo nivel. Estas relaciones de segundo nivel van insertadas en la nueva tabla “case5\_neigh”.

El siguiente paso es unir las celdas vecinas de la celda de referencia tratada con las celdas vecinas de una de las celdas vecinas seleccionadas en una tabla que tendrá el nombre de “case5\_neigh\_union\_second\_neigh”. Para evitar errores en la detección no se deberá incluir la celda vecina usada para detectar las otras celdas vecinas de segundo nivel.

Una vez se tienen todas las celdas que pueden inducir a una confusión, se deben eliminar aquellas celdas que pueden estar repetidas, para ello se crea una nueva tabla con celdas no repetidas que se llamará “case5\_distinct”. Por último, falta identificar los casos de confusión, para ello se recorre la columna que contiene el PCI de las celdas y se hace un conteo para cada PCI, si el resultado arroja un valor mayor a la unidad significa que hay al menos dos celdas con mismo PCI las cuales, en caso de no haberse detectado previamente por otra confusión, serán anotadas en la tabla “case5”.

El proceso continuará hasta haber recorridas todas y cada una de las celdas vecinas de la de referencias borrando en cada iteración las tablas asociadas a las relaciones de segundo nivel de vecindad las cuales son “case5\_neigh\_union\_second\_neigh”, “case5\_distinct” y “case5\_neigh”; y cuando termine este sub-bucle, se borrará la tabla “case5\_ref” y se pasará a otra celda de referencia donde se continuará el proceso y se volverán a rellenar las tablas.

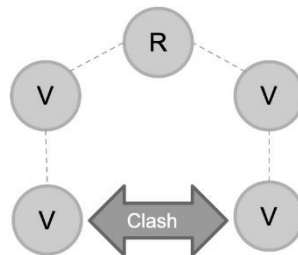
Finalmente, se eliminan todas las tablas creadas excepto “case5” que será usada para unificar aquellas parejas de celdas en una misma fila que comparten el mismo PCI, siempre y cuando su “Neigh\_ID” sea diferente puesto que de ser así se trataría de la misma celda. La tabla que contendrá las relaciones de vecinas en una misma fila se denomina “case5\_detected”. El proceso se puede observar de forma gráfica en el Esquema 4.



Esquema 4. Celda vecina con respecto a celda vecina de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

### CASO 6: Celda vecina de segundo nivel con respecto a otra celda vecina de segundo nivel

La celda vecina de segundo nivel de una de las vecinas de una celda de referencia comparte PCI con la celda vecina de segundo nivel de otra de las vecinas de la celda de referencia.



Caso 6. Celda servidora de segundo nivel con respecto a celda servidora de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

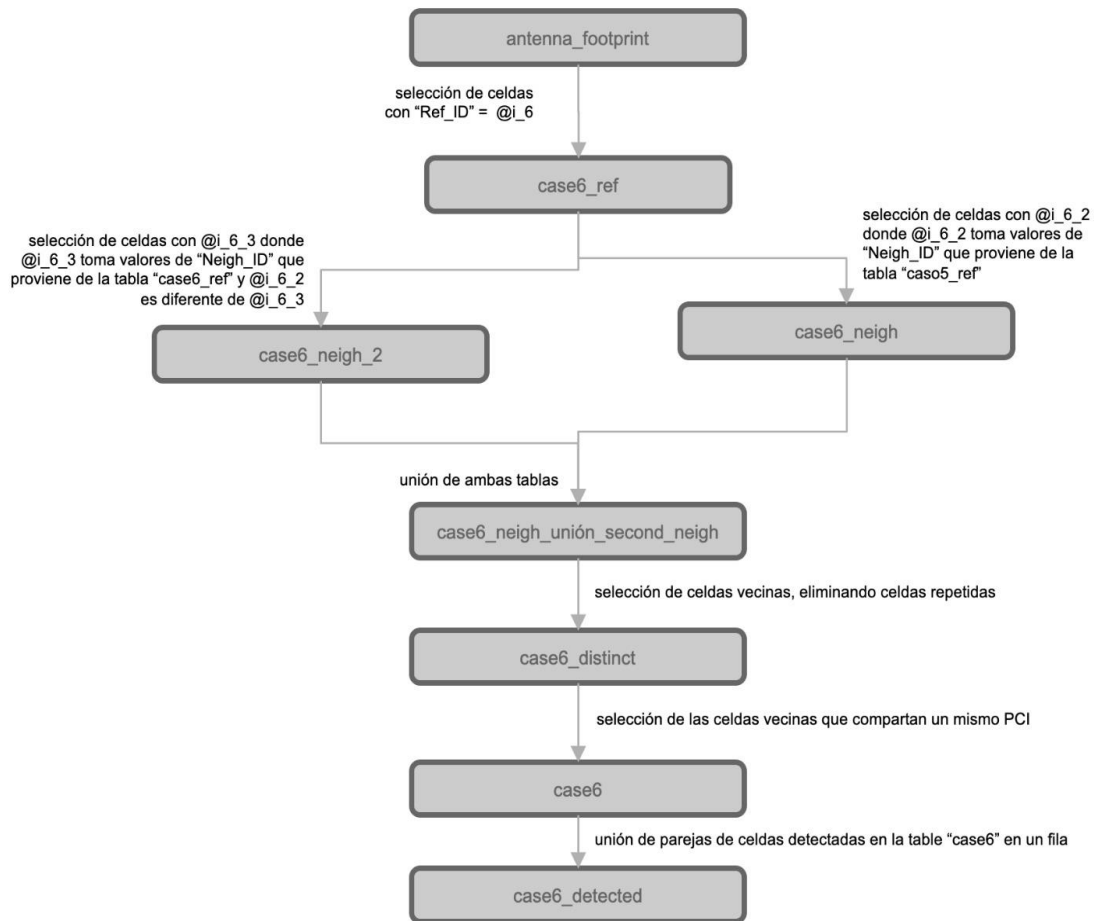
## EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla                    | Descripción  |
|---------------------------------------|--|
| <b>case6_ref</b>                      | Contendrá una selección concreta de celdas cuyo “Ref_ID” sea el valor @i_6.  |
| <b>case6_neigh</b>                    | Contendrá celdas “Ref_ID” igual al valor de @i_6_2 siendo este valor tomado uno de entre los posibles valores de la columna “Neigh_ID” de la tabla “case6_ref”.  |
| <b>case6_neigh_2</b>                  | Contendrá celdas “Ref_ID” igual al valor de @i_6_3 siendo este valor tomado uno de entre los posibles valores de la columna “Neigh_ID” de la tabla “case6_ref” y no coincidiendo @i_6_2 con @i_6_3 para poder así establecer las relaciones entre celdas vecinas de segundo nivel. |
| <b>case6_neigh_union_second_neigh</b> | Unión de las tablas “case6_ref” y “case6_neigh”.   |
| <b>case6_distinct</b>                 | Contiene las mismas celdas que la tabla “case6_neigh_union_second_neigh” pero eliminando posibles repeticiones de una misma celda  |
| <b>case6</b>                          | Contendrá las celdas detectadas por el algoritmo que comparten un mismo PCI.   |
| <b>case6_detectet</b>                 | Unión de las parejas de celdas detectadas en la tabla “case6” en una fila.   |

Tabla 11. Explicación de las tablas del caso 6. Fuente: Elaboración propia

### DESARROLLO DEL CASO:

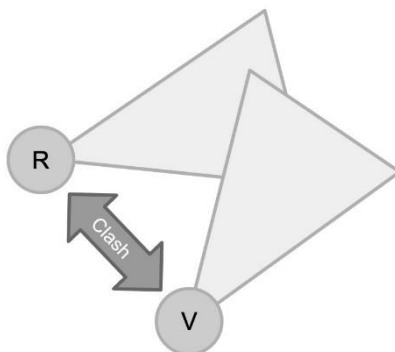
El case analizado actualmente es una extensión del case 5, donde la principal diferencia es la inclusión de una nueva tabla “case6\_neigh\_2” que al igual que “case6\_neigh” contendrá relaciones de vecindad de segundo nivel, pero en el caso de “case6\_neigh\_2” siempre serán diferentes del contenido en “case6\_neigh” porque una condición establecida en el momento de seleccionas las celdas es que @i\_6\_3 sea diferentes de @i\_6\_2. De esta forma, la tabla de unión “case6\_neigh\_union\_second\_neigh” constará de la tabla “case6\_neigh” y la tabla “case6\_neigh\_2”. En el Esquema 5 aparece esquematizado el proceso explicado.



Esquema 5. Celda servidora de segundo nivel con respecto a celda servidora de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

### CASO 7: Solape entre las áreas de cobertura entre una celda de referencia y otra celda

La celda de referencia y otra celda (vecina o no) comparten un mismo PCI y el área de cobertura de ambas celdas queda solapada en un porcentaje mayor al permitido.



Caso 7. Solape entre las áreas de cobertura entre una celda de referencia y otra celda. Fuente: Elaboración propia

EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla | Descripción  |
|--------------------|--|
| case7_detected     | contiene las relaciones detectadas sin duplicaciones del caso 7. |

Tabla 12. Explicación de las tablas del caso 7. Fuente: Elaboración propia

DESARROLLO DEL CASO:

En primer lugar, se crean las variables “@percentage\_overlap” y “@distance” que podrán ser modificadas por el usuario antes de lanzar la *query* e indicar el porcentaje de solape mínimo permitido entre dos celdas y la distancia máxima para que el PCI de dos celdas pueda crear algún tipo de problema si coincide.

En segundo lugar, se crea la tabla “case7\_detected” que será utilizada a lo largo de la *query*. El primer paso es rellenar las variables con el prefijo “Cell1” y “Cell2” con campos provenientes de la tabla “antenna\_footprint”. A continuación, se calcula la columna “overlap” y la columna “distance” para cada pareja de celdas. Solamente serán seleccionadas aquellas parejas de celdas que cumplan los siguientes requisitos:

- El solape (*overlap*) calculado entre ambas celdas debe ser mayor a la variable “@percentage\_overlap” la cual será fijada antes de lanzar la *query*. Esta variable indicará el mínimo solape para incluir la pareja de celdas como caso detectado. Por defecto se ha decidido escoger un valor de 0,15.
- De la misma forma, el solape deberá ser menor a la unidad. De no ser así, ambas celdas relacionadas son la misma celda, ya que dos celdas no tienen exactamente la misma área de cobertura a no ser que sean la misma.
- El PCI de ambas celdas deberá ser el mismo.
- El identificador “ID” deberá ser diferente, si no estaríamos ante la misma celda.
- La distancia para que ambas celdas pueden tener problema de confusión será de 16 kilómetros. Esta distancia puede ser modificada ya que estará contenida en la variable “@distance”. Las parejas de celdas que disten más de 16 kilómetros no se contabilizarán.
- La distancia entre celdas debe ser mayor que 0 kilómetros, si no se está analizando la misma celda.

Los casos de celdas que cumplan las especificaciones anteriores serán incluidos de la tabla “case7\_detected” compuesto por lo siguiente campos:

| Nombre la columna           | Descripción                |
|-----------------------------|----------------------------|
| Cell1_ID <sup>3</sup>       | ID de la celda “Cell1”     |
| Cell1_CellName <sup>3</sup> | Nombre de la celda “Cell1” |
| Cell1_NRPCI <sup>3</sup>    | PCI de la celda “Cell1”    |

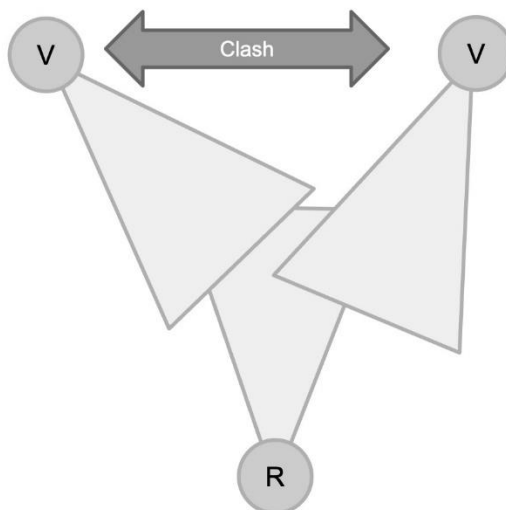
<sup>3</sup> \*Los mismos campos están definidos para la celda identificada “Cell2”.

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>overlap</b>  | Solape entre la celda “Cell1” y la celda “Cell2” |
| <b>distance</b> | Distancia entre la “Cell1” y la “Cell2”          |

Tabla 13. Descripción nombre columnas de la tabla “case7\_detected”. Fuente: Elaboración propia

### CASO 8: Solape entre las áreas de coberturas de dos celdas con la celda de referencia

Dos celdas que tienen en común una celda de referencia tienen sus áreas cobertura solapadas con la celda de referencia produciendo así un caso de colisión. Las dos celdas vecinas comparten PCI.



Caso 8. Solape entre las áreas de coberturas de dos celdas con la celda de referencia. Fuente: Elaboración propia

### EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla    | Descripción  |
|-----------------------|--|
| <b>case8_detected</b> | Contiene las relaciones detectadas sin duplicaciones del caso 8. |

Tabla 14. Explicación de las tablas del caso 8. Fuente: Elaboración propia

### DESARROLLO DEL CASO:

En primer lugar, se crean las variables “@percentage\_overlap” y “@distance” que podrán ser modificadas por el usuario antes de lanzar la *query* e indica el porcentaje de solape mínimo permitido entre dos celdas y la distancia máxima para que el PCI de dos celdas pueda crear algún tipo de problema si es el mismo.

En según lugar, se crea la tabla “case8\_detected” que será utilizada a lo largo de la *query*. El primer paso es rellenar las variables con el prefijo “Ref”, “Cell1” y “Cell2” con campos provenientes de la tabla “antenna\_footprint”. Las variables con el prefijo “Ref” hacen referencia a la celda de referencia principal. Las variables con los prefijos “Cell1” y “Cell2” contienen los parámetros de las celdas cuya área de cobertura está solapada con el área de cobertura de la celda principal.

A continuación, son calculadas las columnas “Cell1\_Ref\_overlap” y “Cell2\_Ref\_overlap” que contienen el solape de cada celda analizada con la celda de referencia. El siguiente paso es calcular la distancia entre cada una de las tres celdas que serán almacenadas en las variables “Cell1\_Cell2\_distance”,



“Cell1\_Ref\_distance” y “Cell2\_Ref\_distance”. De las posibles selecciones de celdas que se podrían llevar a cabo, solamente serán seleccionadas aquellos tríos de celdas que cumplan los siguientes requisitos:

- El solape (*overlap*) calculado entre cada celda y la celda de referencia debe ser mayor a la variable “@percentage\_overlap” la cual será fijada antes de lanzar la *query*. Esta variable indicará el mínimo solape para incluir la pareja de celdas como caso detectado. Por defecto se ha decidido escoger un valor de 0,15.
- De la misma forma, el solape deberá ser menor a la unidad. De no ser así, ambas celdas relacionadas son la misma celda, ya que dos celdas no tienen exactamente la misma área de cobertura a no ser que sean la misma.
- El PCI de ambas servidoras (“Cell1” y “Cell2”) deberá ser el mismo.
- El identificador “ID” de las tres celdas deberá ser diferente, si no estaríamos ante la misma celda.
- Las parejas de celdas que disten más de 16 kilómetros no se contabilizarán. Se calculará la distancia entre las tres celdas por grupos de dos, ninguna distancia deberá ser mayor que el valor de las variables “@distance” que por defecto tendrá el valor de 16 kilómetros. La variable “@distance” puede ser modificada antes de lanzar la *query*.
- La distancia entre celdas debe ser mayor que 0 kilómetros, si no se está analizando la misma celda.

Los casos de celdas que cumplan las especificaciones anteriores serán incluidos de la tabla “case8\_detected” compuesto por lo siguiente campos:

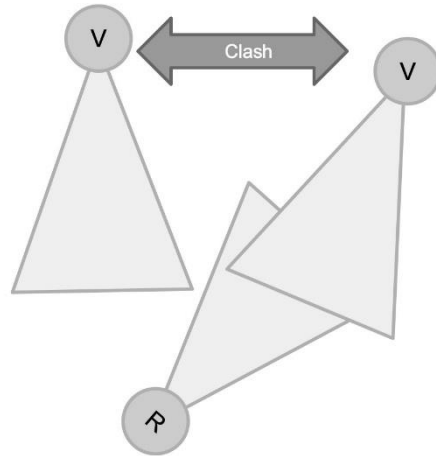
| Nombre de las columnas          | Descripción   |
|---------------------------------|---|
| <b>Ref_ID<sup>4</sup></b>       | ID de la celda de referencia                        |
| <b>Ref_CellName<sup>4</sup></b> | Nombre de la celda de referencia                    |
| <b>Ref_NRPCI<sup>4</sup></b>    | PCI de la celda de referencia                       |
| <b>Cell1_Ref_overlap</b>        | Solape entre la celda de referencia y la “Cell1”    |
| <b>Cell2_Ref_overlap</b>        | Solape entre la celda de referencia y la “Cell2”    |
| <b>Cell1_Cell2_distance</b>     | Distancia entre la “Cell1” y la “Cell2”             |
| <b>Cell1_Ref_distance</b>       | Distancia entre la “Cell1” y la celda de referencia |
| <b>Cell2_Ref_distance</b>       | Distancia entre la “Cell1” y la celda de referencia |

Tabla 15. Descripción nombre columnas de la tabla “case8\_detected”. Fuente: Elaboración propia

**CASO 9:** Solape entre las áreas de coberturas de la celda de referencia y el área otra celda no vecina que comparten PCI con la celda vecina

<sup>4</sup> Los mismos campos están definidos para las celdas identificadas como “Cell1” y “Cell2”.

Una celda servidora (vecina o no) de una celda de referencia comparte PCI con una celda vecina de la celda de referencia. Además, la celda servidora (vecina o no) tiene área solapada con el área de cobertura de la celda de referencia.



*Caso 9. Solape entre las áreas de coberturas de la celda de referencia y el área otra celda no vecina que comparten PCI con la celda vecina. Fuente: Elaboración propia*

#### EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS UTILIZADAS DE LAS BBDD:

| Nombre de la tabla    | Descripción   |
|-----------------------|---|
| <b>case9_detected</b> | Contiene las relaciones detectadas sin duplicaciones del caso 9 |

*Tabla 16. Explicación de las tablas del caso 9. Fuente: Elaboración propia*

#### DESARROLLO DEL CASO:

En primer lugar, se crean las variables “@percentage\_overlap” y “@distance” que podrán ser modificadas por el usuario antes de lanzar la *query* e indica el porcentaje de solape mínimo permitido entre dos celdas y la distancia máxima para que el PCI de dos celdas pueda crear algún tipo de problema si es el mismo.

En segundo lugar, se crea la tabla “case9\_detected” que será utilizada a lo largo de la *query*. El primer paso es rellenar las variables con el prefijo “Ref”, “Neigh1” y “Cell2” con campos provenientes de la tabla “antenna\_footprint”. Las variables con el prefijo “Ref” hacen referencia a la celda de referencia principal. Las variables con el prefijo “Neigh” hacen referencia a la celda vecina de la celda de referencia. Las variables con el “Cell2” contienen los parámetros de las celdas (vecina o no) cuya área de cobertura está solapada con el área de cobertura de la celda principal.

A continuación, es calculada la columna “Cell2\_Ref\_overlap” que contienen el solape de la celda “Cell2” con la celda de referencia. El siguiente paso es calcular la distancia entre cada una de las tres celdas que serán almacenadas en las variables “Ref\_Cell2\_distance”, “Neigh\_Ref\_distance” y “Cell2\_Neigh\_distance”. De las posibles selecciones de celdas que se podrían llevar a cabo, solamente serán seleccionados aquellos tríos de celdas que cumplan los siguientes requisitos:

- El solape (*overlap*) calculado entre la celda “Cell2” y la celda de referencia debe ser mayor a la variable “@percentage\_overlap” la cual será fijada antes de lanzar la query. Esta variable indicará el mínimo solape para incluir la pareja de celdas como caso detectado. Por defecto se ha decidido escoger un valor de 0,15.
- De la misma forma, el solape deberá ser menor a la unidad. De no ser así, ambas celdas relacionadas son la misma celda, ya que dos celdas no tienen exactamente la misma área de cobertura a no ser que sean la misma.
- El PCI de ambas celdas servidoras (“Neigh” y “Cell2”) deberá ser el mismo.
- El identificador “ID” de las tres celdas deberá ser diferente, si no estaríamos ante la misma celda.
- Las parejas de celdas que disten más de 16 kilómetros no se contabilizarán. Se calculará la distancia entre las tres celdas por grupos de dos, ninguna distancia deberá ser mayor que el valor de las variables “@distance” que por defecto tendrá el valor de 16 kilómetros. La variable “@distance” puede ser modificada antes de lanzar la query.
- La distancia entre celdas debe ser mayor que 0 kilómetros, si no se está analizando la misma celda.
- La distancia entre la celda solapada y la celda de referencia deberá ser menor que la distancia entre la celda de referencia y la celda vecina.

Los casos de celdas que cumplan las especificaciones anteriores serán incluidos de la tabla “case8\_detected” compuesto por lo siguiente campos:

| Nombre de la columna            | Descripción   |
|---------------------------------|---|
| <b>Ref_ID<sup>5</sup></b>       | ID de la celda de referencia                                |
| <b>Ref_CellName<sup>5</sup></b> | Nombre de la celda de referencia                            |
| <b>Ref_NRPCI<sup>5</sup></b>    | PCI de la celda de referencia                               |
| <b>Cell2_Ref_overlap</b>        | Solape entre la celda de referencia y la “Cell2”            |
| <b>Ref_Cell2_distance</b>       | Distancia entre la celda de referencia y la “Cell2”         |
| <b>Neigh_Ref_distance</b>       | Distancia entre la celda vecina y la de celda de referencia |
| <b>Cell2_Neigh_distance</b>     | Distancia entre la celda “Cell2” y la celda vecina          |

Tabla 17. Descripción nombre columnas de la tabla “case9\_detected”. Fuente: Elaboración propia

---

<sup>5</sup> Los mismos campos están definidos para las celdas identificadas como vecina “Neigh” y la celda “Cell2”.

## 5. Resultados obtenidos

Primeramente, se debe aclarar que se ha decidido separar la *query* en diferentes *subqueries* para acortar los tiempos de procesado de datos y poder ejecutar el caso que se requiera de entre los posibles analizados según convenga.

La primera *subquery* a lanzar es “data\_linkage”, paso previo es obtener el fichero de texto que contiene la topología de red del cliente y adaptarlo para que pueda ser leído. Para ello, simplemente se tendrá que hacer coincidir el nombre de las columnas del fichero de texto con el nombre de las columnas que aparecerán en la tabla de la *query* donde va a ser insertada y en el mismo orden. En general, este paso de adaptación no es necesario puesto que todos los clientes tienen un estándar acerca de cómo enviar la topología de red. Finalmente, se debe situar el documento en una ubicación conocida que será introducida en la línea siguiente de la *subquery*:

```
BULK INSERT [dbo].[Network_Topology_NR] FROM 'C:\Insertar_aqui_ruta_fichero.txt' WITH (FIRSTROW = 2, FIELDTERMINATOR = '\t', ROWTERMINATOR = '\n')
```

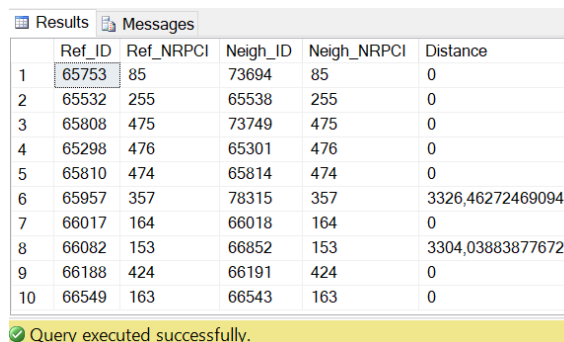
Figura 19. Línea donde especificar ruta fichero. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los pasos previamente enunciados, ya es posible lanzar la *subquery*. El tiempo de duración dependerá del número de celdas que contenga la red de cliente. Para acortar el tiempo de procesamiento para este proyecto se ha decidido coger una muestra de las primeras 10.000 relaciones de vecindad que la *subquery* arroje. De querer llevar a cabo una búsqueda detallada acerca de los posibles casos de colisión y conflicto por PCI, se deberían usar todas las relaciones de vecindad, aunque los tiempos de procesamiento fueran elevados.

A continuación, se procede a lanzar cada una de las *subqueries* relacionadas con los casos anteriormente explicados. Tan solo se mostrarán aquellos campos que no sean susceptibles de violar los derechos de confidencialidad y privacidad de los datos del cliente.

### Resultados caso 1

La *subquery* 1 arroja varios casos detectados, pero se ha decidió escoger los 10 primeros como muestra para ser explicados. Como se pueden ver en la Figura 20 los PCI de la celda de referencia (Ref\_NRPCI) y de la celda vecina (Neigh\_NRPCI) coinciden, por tanto, los casos detectados son correctos. La distancia de algunas relaciones es nula lo cual quiere decir que las celdas se encuentran en la misma ubicación. Se debería comprobar el motivo de dicho valor.



|    | Ref_ID | Ref_NRPCI | Neigh_ID | Neigh_NRPCI | Distance         |
|----|--------|-----------|----------|-------------|------------------|
| 1  | 65753  | 85        | 73694    | 85          | 0                |
| 2  | 65532  | 255       | 65538    | 255         | 0                |
| 3  | 65808  | 475       | 73749    | 475         | 0                |
| 4  | 65298  | 476       | 65301    | 476         | 0                |
| 5  | 65810  | 474       | 65814    | 474         | 0                |
| 6  | 65957  | 357       | 78315    | 357         | 3326,46272469094 |
| 7  | 66017  | 164       | 66018    | 164         | 0                |
| 8  | 66082  | 153       | 66852    | 153         | 3304,03883877672 |
| 9  | 66188  | 424       | 66191    | 424         | 0                |
| 10 | 66549  | 163       | 66543    | 163         | 0                |

Figura 20. Resultados obtenidos del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

## Resultados caso 2

Al lanzar la *query* del caso 2 no se ha obtenido ningún resultado lo cual lleva a concluir que la red está optimizada para este tipo de confusión para la muestra seleccionada.

Recordar que los posibles casos detectados por el caso 3 estarían recogidos en el caso 2 y al no haberse detectados ningún conflicto en el caso 2, tampoco existen conflictos para el caso 3 para la muestra seleccionada.

Se podría pensar que existe un error en el código, pero se han realizado pruebas con cada uno de los casos introduciendo casos ficticios para que fueran detectados y todas las *subqueries* han arrojado los valores esperados.

## Resultados caso 4

Lo mismo que ocurre con el caso 2, también ocurre con los casos 4, 5 y 6. Al lanzar las *subqueries* no se obtienen resultados lo cual lleva a concluir que la red está optimizada para esos tipos de confusiones para la muestra seleccionada.

## Resultados caso 7

Como se puede apreciar en la Figura 21, existen 5 casos detectados cuyas celdas presentan una distancia menor de 16 kilómetros, un solape superior al establecido al inicio de la *query* del 15% y los PCI de las celdas coinciden, por lo que las parejas de celdas mostradas son un caso de conflicto del tipo 7.

|   | Cell1_ID | Cell1_NRPCI | Cell2_ID | Cell2_NRPCI | overlap           | distance         |
|---|----------|-------------|----------|-------------|-------------------|------------------|
| 1 | 82481    | 105         | 99116    | 105         | 0,992845630310535 | 4486,08192035817 |
| 2 | 101152   | 291         | 105540   | 291         | 0,208391333757965 | 6711,90062840507 |
| 3 | 104526   | 217         | 110005   | 217         | 0,622504081588827 | 7085,61224378647 |
| 4 | 107523   | 496         | 102487   | 496         | 0,203598194270033 | 8159,27017394251 |
| 5 | 110907   | 439         | 103382   | 439         | 0,271123868990192 | 15925,6879453605 |

Figura 21. Resultados obtenidos del caso 7. Fuente: Elaboración propia.

## Resultados caso 8

En la Figura 22, se puede apreciar la columna de referencia con un PCI diferente a las dos otras celdas que sí que comparten PCI. También se puede observar el solape de la celda de referencia con cada una de las dos celdas, así como las distancia entre ellas. Las celdas 1 y 2 muestran un caso de conflicto del tipo 8.

|    | Ref_ID | Ref_NRPCI | Cell1_ID | Cell1_NRPCI | Cell2_ID | Cell2_NRPCI | Cell1_Ref_overlap | Cell2_Ref_overlap | Cell1_Cell2_distance | Cell1_Ref_distance | Cell2_Ref_distance |
|----|--------|-----------|----------|-------------|----------|-------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1  | 67414  | 494       | 73268    | 293         | 76161    | 293         | 0,165648425078677 | 0,257232558264102 | 13307,5416791792     | 10170,8882218837   | 4584,87114553059   |
| 2  | 67414  | 494       | 76161    | 293         | 73268    | 293         | 0,257232558264102 | 0,165648425078677 | 13307,5416791792     | 4584,87114553059   | 10170,8882218837   |
| 3  | 68045  | 239       | 73268    | 293         | 76161    | 293         | 0,300091501881444 | 0,231678411890515 | 13307,5416791792     | 6588,52783702835   | 6721,29288882674   |
| 4  | 68045  | 239       | 76161    | 293         | 73268    | 293         | 0,231678411890515 | 0,300091501881444 | 13307,5416791792     | 6721,29288882674   | 6588,52783702835   |
| 5  | 73250  | 155       | 73268    | 293         | 76161    | 293         | 0,306492953154819 | 0,156538671991607 | 13307,5416791792     | 7180,54161057149   | 8476,37470466942   |
| 6  | 73250  | 155       | 76161    | 293         | 73268    | 293         | 0,156538671991607 | 0,306492953154819 | 13307,5416791792     | 8476,37470466942   | 7180,54161057149   |
| 7  | 78214  | 110       | 73268    | 293         | 76161    | 293         | 0,242495056139323 | 0,209794126019441 | 13307,5416791792     | 7643,3183084256    | 5670,21752981576   |
| 8  | 78214  | 110       | 76161    | 293         | 73268    | 293         | 0,209794126019441 | 0,242495056139323 | 13307,5416791792     | 5670,21752981576   | 7643,3183084256    |
| 9  | 102462 | 477       | 101152   | 291         | 105540   | 291         | 0,17069426989826  | 0,551771087583189 | 6711,90062840507     | 6403,24866277233   | 3134,57500738815   |
| 10 | 102462 | 477       | 105540   | 291         | 101152   | 291         | 0,551771087583189 | 0,17069426989826  | 6711,90062840507     | 3134,57500738815   | 6403,24866277233   |

Figura 22. Resultados obtenidos del caso 8. Fuente: Elaboración propia.

## Resultados caso 9

El último de los casos no arroja ningún resultado como ya ha ocurrido en otros casos por lo que la red ya se encuentra optimizada para este tipo de caso para la muestra seleccionada.

## 6. Discusión de los resultados obtenidos

Los resultados arrojados muestran aquellas combinaciones de celdas que tienen las características necesarias para crear algún tipo de colisión o confusión entre celdas por PCI. Se ha podido observar que existen casos que no han mostrado ningún tipo de resultado y esto se debe a que la red de cliente está optimizada en la mayoría de las situaciones.

El único caso de confusión que ha arrojado algún tipo resultado ha sido el caso 1. La detección de escenarios realizada de confusión y colisión por PCI se ha diseñado de tal forma que no tiene en cuenta las condiciones topográficas del terreno. Por este motivo y con toda probabilidad, los posibles casos de confusión detectados en el caso 1, no producen ningún tipo de confusión por PCI para el usuario que realiza una llamada, y por tanto la llamada no caerá. Dicho de otra manera, es muy posible que las relaciones de celdas detectadas no hayan contemplado la posibilidad de un obstáculo que imposibilite la confusión por PCI, pero sí se ha tenido en cuenta por parte del cliente a la hora de realizar el despliegue de la red. No quiere decir esto que todos los casos detectados sean “falsos positivos”, es posible que exista confusión por PCI que habría que discernir. Por ello, de forma posterior al lanzamiento de la *query* se requiere una inspección para ver el motivo de dicho conflicto.

No obstante, los casos detectados por el programa no son para nada erróneos. De hecho, se podría cambiar el PCI y proponer otro para evitar problemas en un futuro en el que dicho obstáculo desapareciera, aunque lo óptimo sería ampliar la capacidad de detección de los conflictos y contemplar la existencia de obstáculos.

Por este motivo, el presente trabajo pretende detectar todos los casos posibles de confusión y colisión sin importar las características propias del terreno del cliente, así como otras posibles peculiaridades a tener en cuenta.

Por otra parte, los casos 7 y 8 también han arrojados algunos resultados que podrían ser, al igual que ocurre en el caso 1, “falsos positivos” por no haber considerado las características topográficas del terreno. Se debería de realizar un estudio posterior al lanzamiento de la *query*.

Además, a los casos que se pudieran detectar, habría que añadirle otros casos de confusión o colisión por PCI que son debidos a características propias del terreno como pueden ser el paso de un afluente que por efectos dispersivos del agua aumenten la distancia de cobertura de las ondas emitidas por una antena a otras zonas que no debería, colisionando con otras celdas que tengan el mismo PCI y creando conflictos con el equipo de usuario.

## 7. Conclusiones y líneas futuras

El objetivo de este proyecto era detectar aquellos casos de colisión o confusión que se podían dar entre las celdas de red 5G del cliente que se analizase. Era de vital importancia programar una *query* que fuera capaz de detectar dichos conflictos mencionados y mostrarlos por pantalla.

Se esperaba obtener pocos casos de conflicto puesto que la red del cliente ha sido desplegada recientemente y al ser uno de los primeros despliegues de red 5G SA, se presumía que iba a ser una red con pocos errores en el despliegue y así ha ocurrido. En consecuencia, los casos más sencillos en cuanto a conflictos por confusión han presentado pocos resultados puesto que se estaba analizando una red ya optimizada. Aun así, se esperaban algunos resultados que indicarían que la *query* desarrollada no tiene en cuenta algunas variables como puede ser la topografía del terreno.

Además, se debe tener en cuenta que, para poder lanzar las *queries* se ha escogido una pequeña muestra de 10.000 relaciones de vecindad frente a las casi tres millones de relaciones de vecindad que existen para que los tiempos de procesamiento sean apropiados, puesto que de no ser así se podría colapsar el sistema por el número de operaciones a ejecutar o la base de datos del cliente por la cantidad de información a procesar. Si se hubiera analizado toda la población se hubiera esperado obtener un mayor número de casos detectados.

De forma resumida se puede concluir que las *queries* programadas son capaces de detectar todo tipo de colisiones sin tener en cuenta características topográficas del terreno. Es por ello que el programa ha detectado números casos de conflictos que deberán ser estudiados para determinar si verdaderamente podrían ocasionar un problema en la red cliente o, en contrapartida, debido a condiciones que la *query* no contempla, la incidencia detectada no genera ningún tipo de preocupación.

Analizados cada uno de los casos de forma particular y teniendo en consideración las condiciones topográficas del terreno. El siguiente avance sería programar otra funcionalidad que, a partir de tablas que ya han sido creadas en los diferentes casos, fuera capaz de proponer un nuevo número PCI para las celdas afectadas que verdaderamente generan un problema para la red sin generar nuevos conflictos.

Para ello se deberían tener en cuenta las relaciones de vecindad establecidas y comprobar cuál es el PCI que no se ha usado entre las vecinas, si es que hay algún número PCI sin usar. Si se obtiene algún número sin usar, sería el nuevo PCI propuesto para una de las celdas que presentan el conflicto, ya que solo haría falta cambiar el número PCI de una de las celdas. En caso de que no se haya encontrado un PCI libre para ninguna de las celdas, una alternativa sería proponer un despliegue de red totalmente nuevo con los números PCI correctamente asignados para evitar todo tipo de conflictos.

El diseño de la herramienta de detección de conflictos será propuesto a la compañía EXFO para su completo desarrollo juntamente con la herramienta de propuestas de PCIs para los casos de conflictos que se detecten.



## 8. Bibliografía

- [1] M. A. U. Gawas, «An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G,» *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, p. 5, 2015.
- [2] V. P. a. T. Sousa, «Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G,» *Academia.edu*, p. 8, 2004.
- [3] “Frequency Division Multiple Access,” [Online]. Available: <https://blog.oureducation.in/frequency-division-multiple-access/>.
- [4] Y. Zhou, L. Liu, H. Du, L. Tian, X. Wang y J. Shi, «An Overview on Intercell Interference Management in Mobile Cellular Networks: from 2G to 5G,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p. 5.
- [5] M. I. K. H. a. A. U. Hiroshi Furukawa, «SSDT—Site Selection Diversity Transmission Power Control for CDMA Forward Link,» *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS*, p. 9, 2000.
- [6] Documentación asignatura Comunicación Móviles , «Tecnología LTE,» Valencia.
- [7] T. Bhandare, «LTE and WiMAX Comparison,» p. 59, 2008.
- [8] J. M. O. Ovalle, «ESTUDIO SOBRE NORMAS Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA TELEFONÍA 4G LTE EN COLOMBIA,» Colombia, Bogotá, 2014.
- [9] Sawakinome, «Diferencia entre OFDM y OFDMA».
- [10] G. L. Agredo-Méndez, P. E. Jojoa-Gómez y V. Almenar-Terré, «Sistemas MIMO con un elevado número de antenas: clave para la 5G inalámbrica,» *Entramado*, p. 12, 2015.
- [11] Artiza Networks, “artiza.co.jp,” [Online]. Available: <https://www.artiza.co.jp/products-solutions/products/tester/tutorial/mimo.html>.
- [12] D. J. a. G. Liu, *An Overview of 5G Requirements*, Springer Nature, 2017.
- [13] Cisco Annual Internet Report, «Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper,» 2020.
- [14] 5GPPP, «Final Report on 5G PPP KPI progression,» To-Euro-5G Consortium Parties, 2017-2019.
- [15] D. R. Bai, D. V. Chandra, R. Ray y D. P. P. Dr. Liu, «Next Generation Mobile Networks: 5G Cellular Infrastructure,» *The Journal of Technology, Management, and Applied Engineering*, p. 19, 2020.
- [16] T. Dicson, «magora-systems.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://magora-systems.com/5g-network/>.
- [17] NGMN 5G, «NGMN 5G Initiative White Paper,» *ngmn*, p. 125, 2015.
- [18] F. Rayal, «Frank Rayal.wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://frankrayal.wordpress.com/2015/05/25/will-5g-be-irrelevant/>.

- [19] R. Triggs, "Android Authority," 2019. [Online]. Available : <https://www.androidauthority.com/what-is-5g-mmwave-933631/>.
- [20] Akl, R. Chataut y Robert, «Massive MIMO Systems for 5G and beyond Networks—Overview, Recent Trends, Challenges, and Future Research Direction,» *MDPI*, p. 35, 2020.
- [21] A. F. Molisch, V. V. Ratnam, S. Han, Z. Li, S. L. H. Nguyen, L. Li y K. Haneda, «Hybrid Beamforming for Massive MIMO: A Survey,» *IEEE Xplore*, pp. 134-141, 2017.
- [22] C. Schneider. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-dual-beamforming-with-the-radiation-lobes-steered-in-the-direction-of\\_fig11\\_267642322](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-dual-beamforming-with-the-radiation-lobes-steered-in-the-direction-of_fig11_267642322).
- [23] J. Aranda, E. J. Sacoto-Cabrera, D. Haro-Mendoza y F. Astudillo-Salinas, «5G networks: A review from the perspectives of architecture, business models, cybersecurity, and research developments,» *Revista Digital Novasinerzia*, 2021.
- [24] U. Doetsch, N. Bayer, H. Droste, A. Roos, T. Rosowski, G. Zimmermann, P. Agyapong, N. F. Lindqvist, I. D. Silva, H. Eriksson, H. Tullberg, Ö. Bulakci, J. Eichinger, K. Dimtsa, M. Stamatelatos y Venkatasubramanian, «Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society,» *Seventh Framework Programme*, p. 189, 2015.
- [25] H. Remmert, «DIGI,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.digi.com/blog/post/5g-network-architecture#:~:text=El%20n%C3%BAcleo%205G%20utiliza%20una,se%20muestra%20en%20el%20diagrama>.
- [26] Techplayon, «5G SA Inter gNB Handover – Xn Handover,» *Techplayon*, 2021.
- [27] A. Peltonen, R. Sasse y D. Basin, «A Comprehensive Formal Analysis of 5G Handover,» *ACM*, p. 12, 2021.
- [28] Techplayon, «Techplayon,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>.
- [29] V. K, «LTE 4G/5G SON (Self Organizing Networks),» 2018. [En línea]. Available: <https://lte-son.blogspot.com/2018/10/physical-cell-id-pci.html>. [Último acceso: 2022].
- [30] M. M. K. N. Prof. Nitin R.Chopde, "Landmark Based Shortest Path Detection by Using A\* and Haversine Formula," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, p. 5, 2013.
- [31] A. Tikhomiro, A. Tikhomirov and A. Semenova, "Recommended 5G frequency bands evaluation," *National Research University of Electronic Technology (MIET)*, p. 5, 2018.