



**DETECCIÓN, ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO, REPORTE,
TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE DEGRADACIONES DE
CELDAS AVE 2G, 3G Y 4G DE ORANGE UTILIZANDO KPIs EN
ARCA TELECOM**

Lluís Climent i Martí

Tutor: Jose Francisco Monserrat del Río

Cotutor: Carlos Sanchís Llopis

Trabajo Fin de Máster presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Máster en Ingeniería Telecomunicación

Curso 2018-19

Valencia, 2 de julio de 2019



Glosario:

A continuación, una serie de definiciones de siglas y tecnicismos a utilizar durante el trabajo.

1PO, 2PO, 3PO: Primera portadora, segunda portadora, tercera portadora (U2100).

Baseline: Referencia de configuración de parámetros que viene dada por la operadora y todos los nodos especificados para esa configuración (en este caso, los del AVE) deben seguir, salvo las excepciones que deben incluirse en un listado.

BBP: BaseBand Processor. Como una CPU de funciones Radio.

BCCH: Broadcast Control Channel (2G).

Block: Bloqueo, fallo. Denegación de servicio o establecimiento de conexión (CS, PS, RAB, RRC, etc.) en el momento de intentar establecerla.

CAP: Documento del nodo donde constan los componentes, configuración, futuras ampliaciones, etc. Como una especie de datasheet del nodo.

CCR: Call Completion Rate. Mantenibilidad.

CE: Channel Elements. Capacidad de procesamiento del HW. Un CE es la capacidad de procesamiento y HW necesarios para establecer un RAB de voz. Se establece mediante licencias configuradas mediante SW. La capacidad licenciada puede ser distinta de la capacidad real (se le pueden asignar menos licencias a un nodo por motivos varios).

Combined Cell: Configuración de nodo con 2 o más sectores físicos como solamente uno lógico, computando todos los datos de forma única, aunque se dé servicio a dos direcciones o zonas. 2 celdas con su hardware correspondiente, pero a efectos de sistema y nomenclatura son una sola celda. Como un Raid0 de controladoras.

CPC: Continuous Packet Connectivity. Conjunto de técnicas para reducir consumo en 3G y 4G (DTX y DRX, canales paging, etc.).

CPICH: Common Pilot Channel. Señal de potencia constante, 10% potencia transmisión (normalmente, 43dBm). Se utiliza para identificación y selección de celda.

CRO: Valor de penalización o priorización en función del penalty time. Si el PT vale 31, CRO penaliza. Si PT vale 0, CRO favorece. CRO por 2dB.

CS: Circuit Switched (Voz en 2G y 3G).

CSFB: CS Fall Back. Cuando el UE tiene conexión 4G, pero cuando va a realizar una llamada, se cambia a 3G o 2G si la red no está preparada para realizar la llamada en VoLTE.

CSSR: Call Setup Success Rate (Accesibilidad). Porcentaje de bloqueos respecto a intentos de establecimiento de llamadas/conexiones.

DCR: Drop Call Rate. Porcentaje de llamadas/conexiones que caen a mitad.

DL: Downlink. Red – UE.

Drop: Caída. Corte de conexión (CS, PS, RAB, RRC, etc.) ya establecida.

DUW: Digital Unit WCDMA. Unidad responsable de las tareas de procesamiento digital del nodo.

EcNo: Energía de chip / Ruido.

ENOG: European Network Optimization Group. Se suele obviar la G final al nombrarles.

eNB: eNodeB.

Export: Base de datos de parámetros de las celdas, y sus valores de configuración.

Fallos: Block.



- FOR:** Fiber Optics Repeater. Repetidor de señal del nodo, unido a este mediante una FO.
- FWHM:** Full Width at Half Maximum. Ancho de banda a -3dB.
- GAP:** Hueco de cobertura.
- HO:** Handover. Traspaso de llamada/conexión de un nodo/celda a otro/a.
- HW:** Hardware. Equipamiento físico.
- ICMBand:** Idle Channel Measurement (ruido, interferencia). Usualmente medido en 2G. Banda 3-5 significa que hay interferencia seria. Banda 2 se puede tolerar si no degrada.
- INI:** Incidencia. Ticket que se abre asociado a un nodo, cuando ocurre algo que requiere acciones por parte de algún grupo dentro de la operadora.
- IRAT:** Inter Radio Access Technology.
- KPI:** Key Performance Indicator. Parámetro clave, en este caso, para caracterizar el rendimiento o correcto funcionamiento del nodo. (caídas, MOS, etc.)
- LBBP:** Procesadora banda base LTE.
- MBMS:** Multimedia Broadcast Multicast Service.
- MME:** Mobility Management Entity.
- MOS:** Mean Opinion Score. Valor de calidad, en este caso, de voz. Aunque se supone que debe ser opinión de usuarios humanos, en ocasiones se compara la muestra original de voz con la recibida, y se da un valor de calidad en función de la semejanza a nivel binario. 0-1 mal. 3-5 bien.
- NE:** Network Element (nodo).
- NOC 1.5:** Grupo gestión y operaciones de incidencias Orange.
- Nodo RS (RAN Sharing):** Nodo compartido con otra operadora, ya sea emitiendo en nodo ajeno, o viceversa. Se debe pedir a la operadora propietaria que realice los cambios que se necesiten, al no tener acceso directo a este.
- Nodo COMPT:** Nodo que comparte HW entre tecnologías 3G y 4G, que utilizan la misma controladora.
- OSP:** Orange Spain.
- PCI:** Physical Cell ID, código identificador de celda en capa física.
- PDTCH:** Packet Data Traffic Channel. Canal de tráfico de datos GPRS.
- PP:** Pilot Pollution. Degradación por exceso de portadoras/servidores en detected set.
- PS:** Packet Switched (Datos).
- PT:** Penalty time. Valores de prioridad de re-selección GSM o DCS en 2G (lo envía a uno u otro según el valor de CRO). Si vale 31, CRO penaliza. Si vale 0, CRO favorece. CRO por 2dB.
- PUCCH:** Primary Uplink Control Channel. Canal de información de control (calidad del canal, ACKs, etc.).
- PUSCH:** Primary Uplink Shared Channel. Canal para datos de usuarios uplink. Es el que se denuncia por RSSI.
- Rehomng:** Cambio de RNC.
- RNL:** Radio Network Layer.
- ROE:** Relación Onda Estacionaria. Valor en DB utilizado para parametrizar reflexión en terminales físicos del nodo (cableado defectuoso o mal conectado, etc.). 140dB mal. 160dB umbral alarma. VSWR.



Rollback: Vuelta a configuración anterior, por ejemplo, al salir mal una configuración.

ROP: Intervalo de muestras en una distribución (tabla, gráfica, etc.). Por ejemplo, en MAQA un ROP puede ser 1 día, 1 hora o 15 minutos, y en caso de elegir muestreo de 15 minutos, y tener una degradación de 17:00 a 19:00 horas, la degradación durará 2 horas u 8 ROPs.

RRU/RRH: Remote Radio Unit/Head. Transceptor del nodo. Es el dispositivo que dispone de los recursos radio de potencia (los recursos de capacidad de procesamiento o CE son de la controladora). Los FOR también constan de RRU.

RSCP: Received Scrambling Code Power. Potencia recibida al sintonizar un SC, es decir, decodificar un canal/usuario.

RSRQ: Reference Signal Received Quality. Similar al RSSI, pero midiendo la calidad recibida, en lugar de la potencia de la señal.

RSSI: Received Signal Strength Indicator. Medida de interferencia que tiene en cuenta el RSCP y el EcIo. En 4G el umbral es -110 dB.

RTWP: Received Total Wideband Power (medida de ruido). En 3G el umbral es -95dB.

RxQual: Parámetro de calidad de la voz en GSM, similar al MOS.

SC: Scrambling Code, código ortogonal CDMA.

SDCCH: Stand Alone Dedicated Control Channel. Tráfico de control y señalización.

SRVCC: Single Radio Voice Call Continuity. Paso de llamada 4G (VoLTE) a 3G (CS) de forma transparente.

SSRR: Sistemas Radiantes. Antenas de un nodo.

SW: Software.

Swap: Cambio de HW.

TCH: Traffic Channel. GSM.

TME: Telefónica Movistar España.

TP: Trabajo Programado. Parametrización programada a cierta hora.

UARFCN/ARFCN: Absolute Radio-Frequency Channel Number. Número identificador de banda en la que se emite (divisiones 200kHz).

UL: Uplink. UE - Red

UMPT: Controladora. Universal Main Processing and Transmission Unit.

VDF: Vodafone.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio. ROE.

WO: Work Order. Trabajo en local realizado por técnicos y/o operarios para solucionar problemas o realizar cambios.

Zonas: Regiones en las que se divide España en cuanto a la red celular (Figura 20). En caso de mencionar simplemente "Zona", se refiere a el responsable de los nodos AVE esa zona en particular, al que se le debe notificar y solicitar trabajos o permisos en caso de ser pertinente.



Resumen

En este trabajo se estudia la mejor forma de evaluar el rendimiento de redes celulares acorde al objetivo concreto que se tiene, esto es, analizar degradaciones de este rendimiento en la red que da cobertura al entramado de líneas AVE de España.

Simplificando, esta tarea de análisis de degradaciones consiste en obtener un listado de las celdas de la red celular de Orange (en 2G, 3G y 4G), dentro de las que dan cobertura a la red de trenes del AVE en España, que presentan un comportamiento de degradación en su rendimiento (por ejemplo, aumentan las caídas de llamadas, los bloqueos de conexiones, etc.), categorizar cual es el problema, y correlacionar parámetros para obtener el origen de esta degradación (por ejemplo, congestión por exceso de tráfico, interferencias, cortes de alimentación, etc.), y en caso de ser pertinente, realizar acciones para corregir estas degradaciones y monitorizar su impacto posteriormente.

Una vez obtenido el mejor sistema para evaluar el rendimiento de la red en el estado del arte, se contrastará con la metodología utilizada en la principal tarea que el alumno desarrolla en la empresa Arca Telecom, en la que ha empezado a trabajar después de realizar prácticas a través de la universidad, la cual es este análisis de degradaciones en nodos AVE de Orange. Tras esto, y una breve contextualización teórica de la materia a tratar y las herramientas software utilizadas, se describirán las técnicas, metodologías y sistemas utilizados por el alumno de forma diaria para realizar esta detección, análisis, diagnóstico, reporte, tratamiento y seguimiento de degradaciones. Finalmente, se ilustrará esta metodología con una serie de casos prácticos, así como resultados de las acciones tomadas y su impacto en el rendimiento.

Resum

En aquest treball s'estudia la millor forma d'avaluar el rendiment a xarxes cel·lulars d'acord amb l'objectiu concret que es té, és a dir, analitzar degradacions d'aquest rendiment a la xarxa que dona cobertura a l'entramat de línies AVE d'Espanya.

Simplificant, aquesta tasca d'anàlisi de degradacions consisteix en obtenir un llistat de les cèl·lules de la xarxa cel·lular d'Orange (a 2G, 3G i 4G), dintre de les que donen cobertura a la xarxa de trens de l'AVE en Espanya, que presenten un comportament de degradació en el seu rendiment (Per exemple, augmenten les caigudes de cridades, bloqueigs de connexió, etc.) categoritzar quines el problema, i correlacionar paràmetres per obtenir l'origen d'aquesta degradació (per exemple, congestió per excés de tràfic, interferències, talls d'alimentació, etc.), i en cas de ser pertinent, realitzar accions per a corregir aquestes degradacions i monitoritzar el seu impacte posteriorment.

Una vegada obtingut aquest sistema per avaluar el rendiment de la xarxa a l'estat de l'art, es contrastarà amb la metodologia utilitzada a la principal tasca que l'alumne desenvolupa a l'empresa Arca Telecom, a la que ha començat a treballar després de realitzar practiques a través de la Universitat, la qual és aquest anàlisi de degradacions en nodes AVE d'Orange. Després d'açò, i una breu contextualització teòrica de la matèria a tractar i les ferramentes software utilitzades, es descriuran les tècniques, metodologies i sistemes utilitzats per l'alumne de forma diària per a realitzar aquesta detecció, anàlisi, diagnosi, report, tractament i seguiment de



degradacions. Finalment, s'il·lustrarà aquesta metodologia amb una sèrie de casos pràctics, així com els resultats de les mesures preses i el seu impacte en el rendiment.

Abstract

In this paper we study the best way to evaluate the performance of cellular networks according to the specific goal that we have, that is, to analyze degradations of this performance in the network that covers the AVE train lines in Spain.

Simplifying, this task of degradation analysis consists in obtaining a list of the cells of Orange's cellular network (in 2G, 3G and 4G), within the ones that provide coverage to the AVE train network in Spain, which present a degradation behavior in its performance (for example, an increase in call drops, connection blocks, etc.), categorize what the problem is, and correlate parameters to obtain the origin of this degradation (for example, traffic congestion, interferences, power cuts, etc.), and if applicable, take actions to correct these degradations and monitor their impact later.

Once obtained this system to evaluate the performance of the network at the state of the art, it will be compared with the methodology used in the main task that the student performs in the company Arca Telecom, in which he has started to work after doing an internship through the university, which is this degradation analysis in Orange AVE nodes. After this, and a brief theoretical contextualization of the subject to be treated and the software tools used, the techniques, methodologies and systems used by the student on a daily basis to perform this detection, analysis, diagnosis, reporting, treatment and monitoring of degradations will be described. Finally, this methodology will be illustrated with a series of practical cases, as well as results of the actions taken and their impact on performance.



Índice

Tabla de contenido

Capítulo 1.	Introducción	5
1.1	La empresa	5
1.2	Motivación	6
1.3	Revisión del estado del arte.....	7
1.4	Objetivos y principales aportaciones del TFM.....	10
1.5	Organización del documento.....	11
Capítulo 2.	Principales tecnologías consideradas	13
2.1	Introducción	13
2.2	2G.....	13
2.2.1	Arquitectura.....	14
2.2.2	Canalización	16
2.2.3	Procedimientos y protocolo de llamadas.....	18
2.2.4	GPRS.....	19
2.3	3G.....	20
2.3.1	Introducción e historia.....	20
2.3.2	UMTS R99	20
2.3.3	HSPA.....	28
2.4	4G.....	29
2.4.1	Interfaz radio	30
2.4.2	MIMO	31
2.4.3	Arquitectura.....	32
2.4.4	Flexibilidad.....	33
2.4.5	Canalización	33
2.5	Otros conceptos relevantes.....	35
2.5.1	Nomenclatura	36
2.5.2	KPIs.....	39
2.5.3	Programas y herramientas	41
Capítulo 3.	Análisis y diagnóstico de la red de cobertura del tren de alta velocidad.....	48
3.1	Introducción	48
3.2	Obtención de datos brutos	48
3.3	Filtrado de degradaciones por umbral	49
3.4	Detección de falsos positivos	50
3.4.1	Ejemplos de falsos positivos	52



3.5	Análisis de degradaciones	53
3.5.1	Degradaciones comunes	53
3.5.2	Casos prácticos	66
Capítulo 4.	Medidas correctoras y evaluación de su impacto	77
4.1	Introducción	77
4.2	Medidas correctoras y resultados	77
4.2.1	Caso pool CE.....	77
4.2.2	Caso licencias CE.....	78
4.2.3	Caso de recarga del nodo (último recurso).....	78
4.2.4	Caso de conflicto de PCIs	79
4.2.5	Caso indisponibilidades recurrentes	81
4.2.6	Caso de caídas MME por RSSI en celda vecina	82
Capítulo 5.	Conclusiones y líneas futuras	84
Capítulo 6.	Referencias	86



Tabla de Ilustraciones

Figura 1 - Sedes de la empresa.....	5
Figura 2 - Organigrama de ARCA Telecom	6
Figura 3 - Especificaciones 2G [11].....	13
Figura 4 - Parámetros 2G	14
Figura 5 - Arquitectura GSM [11].....	16
Figura 6 - Canales lógicos de GSM [11].....	16
Figura 7 - Pico en frecuencia de FCCH [11].....	18
Figura 8 - Esquema Receptor RAKE [11].....	22
Figura 9 - Figura resumen de áreas de localización [12]	25
Figura 10 - Ejemplo de canales Sinc con nulos y Fc coincidentes [11]	30
Figura 11 - Intervalos de guarda y prefijo cíclico [11].....	31
Figura 12 - Resumen arquitectura 4G a alto nivel [13]	32
Figura 13 - Canalización y mapeo de canales LTE [14]	35
Figura 14 - Nodos según tecnología [15]	36
Figura 15 - Nodo con 3 sectores. [16].....	37
Figura 16 - Ejemplo de consulta de KPIs diarios de varios nodos LTE Ericsson en BBOO	41
Figura 17 - Ejemplo de consulta de Δ KPIs diarios de todos los nodos 3G de líneas AVE.....	42
Figura 18 - Configuración de consulta en BBOO	43
Figura 19 - Ejemplo de informe con gráfico y tabla de caídas CS y CSSR CS diario por nodo. 43	
Figura 20 - Mapa de zonas	44
Figura 21 - Ejemplo de consulta de KPIs en MAQA de nodo 3G Ericsson de zona 2 por horas 45	
Figura 22 - Búsqueda de WO, INI o TP en MAQA.....	45
Figura 23 – Ejemplo de uso de Google Earth	46
Figura 24 – Ejemplo de incidencia en Oceane	47
Figura 25 – Ejemplo de incidencia en Igrí	47
Figura 26 – Captura de lista de degradaciones compartida con OSP.....	50
Figura 27 - Ejemplo de consultas generalistas 3G Ericsson	51
Figura 28 - Ejemplo de consultas generalistas 4G Ericsson	51
Figura 29 – Ejemplos de falsos positivos cíclicos.....	52
Figura 30 – Tráfico de una celda de U2100 representado en BBOO.....	54
Figura 31 - Aumento de tráfico concentrado y congestión asociada observados en MAQA.....	55
Figura 32 - – Ejemplo de celda con fallos por PW y CE	57
Figura 33 - Fallos en 3G por swap de HW infra-dimensionado.....	58
Figura 34 - Encendido de LTE, tras el cual se soluciona degradación 3G.....	59



Figura 35 – Cambios en los alcances y pérdida de tráfico	61
Figura 36 - Ejemplo de parametrizaciones y reducción de tráfico	62
Figura 37 – Ejemplo de <i>rehoming</i>	65
Figura 38 - Ejemplo de <i>combined cell</i>	66
Figura 39 - Ejemplo de zona rural con pocos nodos	67
Figura 40 - Ejemplo de zona urbana con muchos nodos.....	68
Figura 41– Datos de alcances en BBOO de X3682B1A.....	68
Figura 42– Aumento de tráfico puntual y congestión asociada observados en MAQA.....	69
Figura 43 - CAP de X3682.....	69
Figura 44 – Acotación de zona de búsqueda del nodo caído en Google Earth	70
Figura 45 - Indisponibilidades de X1048 en el horario clave	71
Figura 46 - Degradación por caídas ERAB MME	71
Figura 47- Fallos de HO a celda vecina	72
Figura 48 - RSSI de celda vecina	72
Figura 49 - Alarma de fecha y hora.....	73
Figura 50 - Resultados tras resolución de sincronismo fecha y hora	73
Figura 51 - Degradación y disminución de tráfico en S2.....	74
Figura 52- Degradación y disminución de tráfico en S1	75
Figura 53 - Cese de HO a celda a la que no se apunta	76
Figura 54 Evolución de fallos después de los cambios	77
Figura 55– Reducción de la degradación tras la instalación de licencias CE.....	78
Figura 56 – Degradación y solución tras recarga.....	79
Figura 57 – Zona de la degradación	80
Figura 58 – Extracto de configuración de los nodos con conflicto de PCI.....	80
Figura 59 – Degradación y solución tras rectificar conflicto de PCIs.....	81
Figura 60 – Degradación y solución de indisponibilidades recurrentes.....	82
Figura 61 - Desaparición de la degradación tras solución RSSI	83

Capítulo 1. Introducción

Este trabajo describe minuciosamente las tareas realizadas por el alumno en la empresa en la que actualmente trabaja, ARCA Telecom. Por ello, se considera relevante empezar hablando un poco sobre esta empresa, para a continuación contextualizar el trabajo desarrollado y fijar los objetivos del mismo.

1.1 La empresa

ARCA Telecom es una empresa de servicios, consultoría, soluciones a clientes, etc. Del área de las telecomunicaciones. Fue fundada en 1998 por Luis Sánchez y Miguel Ángel Soria, y ha venido desde entonces prestando servicios a las principales operadoras de telecomunicaciones y a otras grandes empresas del sector.

Actualmente ARCA cuenta con 587 trabajadores y multitud de sedes alrededor de la geografía española, y en otros países como Portugal, México, Sudáfrica y Perú. Esta gran presencia hace que sea un tipo de empresa prácticamente única en el sector.

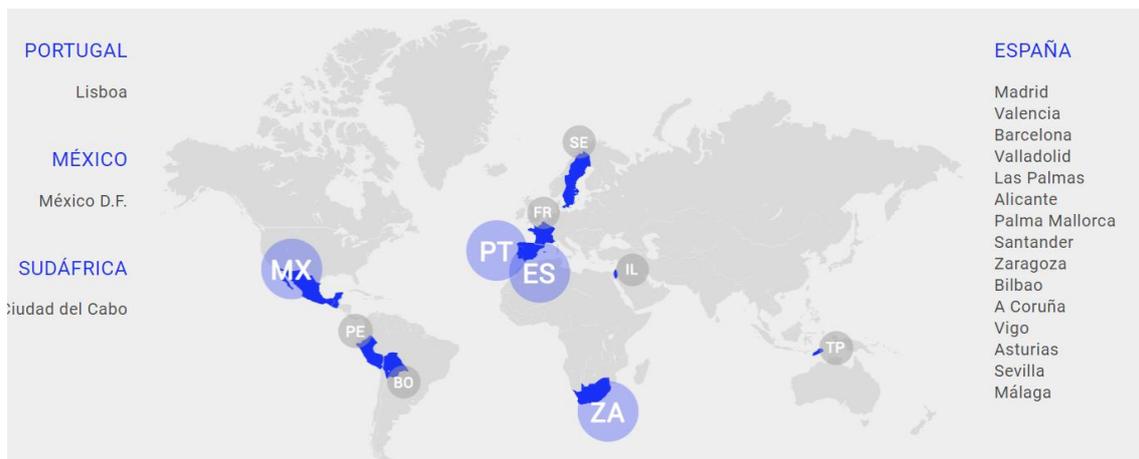


Figura 1 - Sedes de la empresa

ARCA adopta una estructura dividida, principalmente en 4 áreas: Ingeniería, Soluciones a Clientes, Operaciones y Mantenimiento e Infraestructuras. Aparte de esto, estarían las áreas de Administración, dirigida por M.^a Ángeles Sevilla, y de Evolución y Desarrollo, dirigida por Ana González.

Cada área tiene un director de área encargado de gestionar el conjunto de ésta a nivel de ARCA, y, como toda empresa, tiene su CEO que coordina todas las áreas, siendo este César Cid, el cual trabajó en Vodafone España durante 21 años, con distintos puestos de responsabilidad, y salió de esta empresa para asumir el reto de llevar a ARCA a otro nivel.

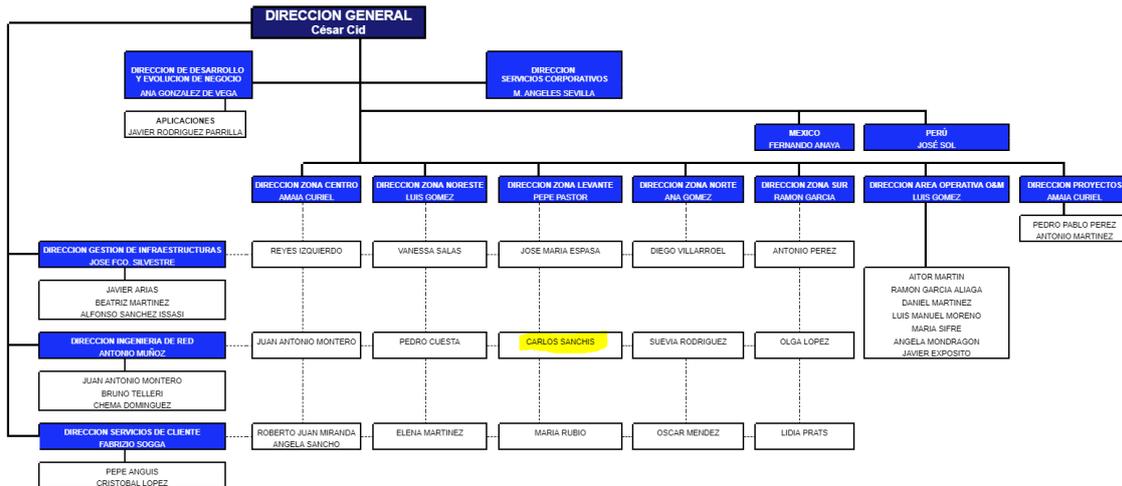


Figura 2 - Organigrama de ARCA Telecom

Como se observa en la Figura 2, esta misma estructura se recrea en cada oficina, teniendo un director de oficina, que haría de enlace de las 4 áreas, y 1 coordinador para cada área en esa oficina. La excepción es Operaciones, que, desde enero de 2019, pasa a ser un área transversal, sin división por oficinas. En el caso de ingeniería de red, el área donde se encuentra el alumno y el trabajo a tratar, el coordinador de zona Levante es Carlos Sanchís, cotutor de prácticas y TFM del alumno junto con Jose Francisco Monserrat del Río. Dentro del área de ingeniería de red, está el proyecto de optimización de AVE y Carreteras, al cual está asignado el alumno, y el Project Leader de este proyecto es Leo Marqués.

Así pues, la tarea que atañe a este trabajo está enmarcada dentro del proyecto de optimización de AVE y Carreteras del departamento de Ingeniería de Red de la oficina de Valencia de Arca Telecom, empresa que tiene la exclusiva de la optimización y análisis de los nodos AVE de Orange España (en adelante, “OSP”).

El departamento de ingeniería de Red se encarga de todos los proyectos de la empresa que tienen que ver con el diseño de plan nominal, nuevos emplazamientos, diseños especiales, análisis de interferencias, integración de estaciones base en la red, generación y definición de parámetros de red, *first tuning* inicial de estaciones base, análisis de drive-test, y en general, toda tarea que tenga que ver con el análisis, parametrización y optimización de nodos 2G (BSCs), 3G(Nodos B) y LTE(eNodeBs) (en adelante, “nodos”) de los proyectos asignados a la empresa.

En cuanto al grupo encargado del proyecto de optimización de AVE y Carreteras, se encarga del análisis de Drive-Test para la optimización de nodos 2G, 3G y 4G de Orange, siendo estos *Drive-Test* de carreteras o de líneas AVE, además de la detección, análisis, diagnóstico, reporte, tratamiento y seguimiento de degradaciones de celdas AVE 2G, 3G y 4G de Orange (en adelante, simplemente “degradaciones” o “degradadas”), siendo este el foco de atención en este trabajo.

1.2 Motivación

Las prácticas en la empresa empezaron el 5 de noviembre de 2018 y, tras los primeros días, el alumno ya pudo constatar que, en el entorno laboral de la empresa, por lo menos en el área de las comunicaciones móviles, gran parte, por no decir la mayoría, de los conocimientos necesarios a nivel práctico para realizar las tareas en este entorno laboral no se imparten en la universidad.

El tener una gran formación en el sector obviamente ayuda a tener un fondo que permita desenvolverse mejor en el entorno ingenieril que otra persona que no la tenga, pero, aun así, hacen

falta una gran cantidad de conocimientos que, a priori, el alumno no tenía antes de entrar en la empresa.

Pasadas unas semanas, y una vez adquirida una parte de estos conocimientos esenciales, y ver como todo iba cobrando sentido y se iba entrelazando con lo estudiado en la universidad, el alumno vio que estas tareas tenían un trasfondo bastante interesante. Tras estas semanas de adaptación, se le otorgó al alumno la responsabilidad y autonomía total en la realización de la tarea de las degradadas, con lo cual, tuvo total libertad para “investigar y experimentar” por su cuenta los casos más interesantes, y el funcionamiento de las herramientas.

De esta forma, el alumno vio que este trasfondo que encontró tan interesante podía dar como para realizar un trabajo al respecto, y al tener pendiente de realizar el TFM, decidió proponer al tutor de las prácticas realizar un TFM con la temática de esta tarea, una vez tenida la certeza de tener continuidad en la empresa tras la finalización de las prácticas.

1.3 Revisión del estado del arte

Este trabajo, como bien se ha hablado en el resumen, tratará acerca de las herramientas y técnicas utilizadas en la empresa a través de la que se realiza, para analizar las degradaciones ocurridas en los nodos que dan cobertura a la red de líneas AVE en España. Pero para analizar este procedimiento, primero debemos ver cuál es el estado del arte en cuanto a análisis de rendimiento de redes de cobertura celular.

Existen múltiples enfoques a la hora de analizar el rendimiento de una red celular. Como vemos en el estudio de David Martin-Sacristán [1], y en el artículo de A.K.M Fazlul Haque [2], un posible enfoque es recrear las condiciones mediante software, y realizar una simulación a partir de fórmulas exactas e ideales como la capacidad, la densidad espectral de ruido, balance de potencias, etc.

Esto puede ser útil para la investigación, o para el diseño inicial para los ingenieros de despliegue de infraestructura, dado que permite obtener parámetros físicos necesarios para la integración correcta del hardware adecuado para el nodo a desplegar. Pero en el apartado de calidad de radio, donde tenemos datos reales de nodos reales, este enfoque es muy poco eficiente, dado la gran cantidad de tiempo, trabajo, y carga computacional necesaria para obtener parámetros ideales, que, al fin y al cabo, no dan una imagen real de la calidad que percibe el usuario. Además, no es necesario recrear de forma ideal un escenario al que ya tenemos acceso, es decir, la red celular, y los valores estadísticos que reportan los nodos día a día.

Así pues, habría que buscar un enfoque que permita obtener unos parámetros de calidad y rendimiento de la red que se ajusten al despliegue real, y que estén más acordes a la experiencia por parte del usuario. En general, como se indica en el artículo de la referencia [3], parece que hay consenso en que, para este cometido, el análisis de parámetros estadísticos clave, o, dicho de otro modo, *Key Performance Indicators* (KPIs), es la mejor forma de analizar el estado y rendimiento de una red a nivel de radio. ¿Pero, qué KPIs? ¿Cómo utilizarlos? ¿Cómo definirlos?

En cuanto a KPIs en redes de comunicaciones móviles, estos se definen por *releases*, a partir de los parámetros básicos medidos por los propios nodos, y almacenados en bases de datos a las cuales tienen acceso las organizaciones que se dedican a monitorizar, analizar y optimizar la red. Cada *vendor* tiene su formato, nomenclatura, fórmulas y operadores propios para estos parámetros, pero los KPIs básicos vienen estandarizados por organismos como la ETSI, mediante documentos como el de la referencia [4].

Así pues, dado que estos parámetros vienen definidos por organismos y *vendors*, habría que definir un método o unos principios para elegir cuales son los KPIs más adecuados para el propósito del trabajo. Según menciona B F Almontaser en su ensayo sobre el análisis de redes 3G de operadores [5], los KPIs son una herramienta de gran valor para mejorar todas las operaciones

de cualquier tipo de negocio. El problema es ver dónde está la línea a partir de la cual empieza a ser poco eficiente, dado que destinar excesivos recursos para proveer de complejos KPIs a la organización puede suponer más esfuerzo que recompensa.

Por ejemplo, si se necesita destinar una importante porción del personal de una empresa a proveer estos complejos datos, procesarlos de formas complejas, y mantener la infraestructura necesaria para ello, al final este coste destinado a obtener KPIs para medir o monitorizar el rendimiento de la red puede llegar a ser superior al beneficio que se puede obtener con la información que estos aportan.

De acuerdo con la definición de KPIs para UMTS de la ETSI para redes 3GPP [4], los KPIs deben emanar de los objetivos estratégicos de la empresa. Se deben definir y medir estos parámetros siempre intentando orientar los valores medidos a cuantificar el progreso hacia los objetivos que se tienen. Es decir, elegir los KPIs que interesen más para el caso particular de interés, como en el caso de la referencia [6], que selecciona KPIs para analizar la QoS de un operador. En este trabajo, el caso particular sería análisis de degradaciones en la red celular.

Por otro lado, se debe realizar un gran énfasis en proveer al cliente de un servicio lo más eficiente posible, de forma que se haga especial hincapié en las medidas de KPIs que afecten de forma más directa a la percepción del servicio por un cliente, es decir, que afecten a su Calidad de Experiencia. A falta de poder incorporar directamente la percepción del cliente como variable en la evaluación del rendimiento de la red [7], es interesante evaluar los parámetros que afectan de forma más directa a la experiencia del cliente. Esto se puede entender tanto a nivel de usuario final, como de operador, ya que, en este caso, el operador Orange es el cliente de la empresa. En el primer supuesto, pensando en los KPIs que afecten más al usuario final, la QoE se ve mucho más afectada por la caída de una llamada, que por una reducción de *throughput* que suponga una reducción en la velocidad de descarga de un archivo. Obviamente, QoS y QoE siempre estarán estrechamente relacionadas, como se puede ver en el artículo de Atenaga e Isabona [8], pero a pesar que para tener buena QoE es imprescindible tener una buena QoS, el tener una buena QoS no garantiza un buen comportamiento en cuanto a QoE y sus KPIs relacionados.

Así pues, en este caso, y siguiendo el ejemplo anterior, el KPI de *drops* o llamadas interrumpidas tiene mucho más impacto en la percepción del cliente, y por tanto es mucho más importante que el de *throughput*, a pesar de la vital importancia de ambos parámetros a la hora de medir el rendimiento de la red. Dicho esto, en el grupo de AVE y Carreteras, a la hora de analizar degradaciones diarias, se suele trabajar, por norma general, con los KPIs básicos relacionados con la capa radio y la calidad de experiencia por parte del usuario, como pueden ser los *drops*, bloqueos, *Drop Call Rate* (DCR/CDR), *Call Setup Success Rate* (CSSR), etc. Más que con parámetros más relacionados con la QoS, como puede ser la SNR o el *throughput*, que, aunque también se pueden utilizar y se intentan mantener en niveles adecuados, y obviamente afectan a la calidad del servicio, no dan una visión tan directa de la experiencia del usuario como los anteriores. También se utilizan parámetros secundarios para obtener información acerca de cambios en los KPIs principales. Para esto se utilizan métricas como alcances, tasa de éxito de *Handovers*, RSSI, etc. Y en casos más concretos, combinaciones de estos, y otros parámetros relacionados con el problema que se tiene.

Respecto a esto último, Ye Ouyang y M. Hosein Fallah, disertan en su trabajo [9] acerca de la correlación de KPIs. Hablan de la importancia de establecer una correlación entre parámetros de QoS, y también parámetros de servicio (tipo de servicio, etc.). Correlacionando distintos parámetros, podemos obtener la relación entre ellos, o entre estos y el rendimiento de la red. Esto, extrapolado a nuestro caso, es de vital importancia a la hora de analizar degradaciones.

En el trabajo de Ouyang y Fallah, se habla de conceptos y parámetros a nivel de red, como *throughput* total, clusterización de muestras de la media del rendimiento de la red global, caídas de paquetes en el SGSN, etc. Pero extrapolando la parte de correlación de KPIs a nuestro propósito, el análisis del rendimiento de un solo nodo o una sola celda, podemos realizar este mismo análisis de correlación entre los KPIs de interés, de forma que se pueda obtener una mejor

visión de qué es lo que está pasando, o de donde viene una degradación. Estas relaciones entre parámetros, junto con casos comunes de degradaciones, se exponen en el apartado 3.5.1.

Así pues, tras un breve repaso de algunas opciones para el análisis de degradaciones, podemos concluir que lo común es analizar parámetros estadísticos clave, KPIs, eligiendo estos de forma adecuada para el propósito concreto (se habla de estos en el apartado 2.5.3), y utilizando métodos adecuados para el análisis de estos, como, por ejemplo, la correlación entre ellos.

Esto es lo que se hace en el grupo de AVE y Carreteras en ARCA. Mediante las herramientas software de las que se habla en el apartado 2.5.3, se obtienen los datos brutos de los parámetros clave de la totalidad de la red a analizar (es decir, de las celdas que dan cobertura al AVE). Mediante los procedimientos expuestos en el Capítulo 3, se determina si existen degradaciones, y cuales son. A partir de los datos obtenidos con los KPIs, y las técnicas de correlación descritas, entre otros, en el apartado 3.5.1, se determina cuál es el origen de estas degradaciones, si estas siguen afectando al nodo, y en caso de ser pertinente, como solucionarlas.

Mencionar que, en cuanto al análisis de KPIs, en el grupo de AVE y carreteras se va un paso más allá para cumplir el objetivo de detectar degradaciones. Junto con el cliente Orange, se establecieron los KPIs a analizar (se pueden ver en las tablas 2, 3 y 4, en el apartado 3.2), los cuales están estrechamente relacionados con la QoE de los usuarios, principalmente caídas y bloqueos, combinaciones y parámetros secundarios de estos. Aun así, al tratarse de un servicio realizado a la operadora, cuya prioridad por encima de todo es dar servicio, también se tienen en cuenta parámetros relacionados con la QoS, como bajadas de tráfico e indisponibilidades. En la referencia [10] podemos ver como la empresa Alcatel-Lucent utiliza prácticamente los mismos KPIs para optimizar sus redes.

Aunque el valor neto de un KPI, por ejemplo, DCR, da información acerca del rendimiento que ofrece la celda analizada, concretamente, el porcentaje de llamadas que no se completan con éxito y se cortan a la mitad resultando en un gran impacto al usuario final, este valor no puede tenerse como referencia absoluta para todas las celdas. No todos los nodos se encuentran bajo las mismas condiciones. Población, localización, orografía, interferencias, y, sobre todo, finalidad, son factores que no se tienen en cuenta en este tipo de enfoque. Establecer un objetivo de DCR es útil y necesario, pero para monitorizar el comportamiento de una red tan extensa y con diversidad de condiciones, es poco útil establecer un umbral a partir del cual se considera un buen o mal comportamiento.

Esto conllevaría una enorme cantidad de “falsos positivos” en muchos nodos cuyo umbral debería ser más alto por los motivos anteriormente mencionados, y una gran cantidad de degradaciones por caídas no detectadas en otros casos cuyo umbral debería ser más bajo, por requerir un porcentaje de éxito en llamadas mayor. Establecer distintos umbrales de DCR podría solucionar el problema, pero sería una solución poco eficiente y elegante, y supondría repetir la misma tarea múltiples veces en múltiples zonas con múltiples umbrales.

Así pues, en el grupo de AVE y Carreteras, se analizan los Δ KPI en lugar de simplemente el valor neto de KPI. Esto es, se analiza la diferencia en el valor del KPI analizado, entre el día analizado (por lo general, el anterior día laborable), y el mismo día de la semana anterior. Los motivos y el procedimiento para realizar esto se detalla mejor en el apartado 3.3, pero básicamente lo que se consigue es detectar los cambios de tendencia respecto a los valores habituales de una celda (que, si el grupo de integración y *first tuning* hizo lo propio correctamente, deberían ser correctos), obteniendo como resultado las degradaciones, en principio, reales.

Además, no solo se analizan KPIs por separado, sino que, como se ha mencionado, se realizan algunas combinaciones de KPIs útiles, como, por ejemplo, DCR*Drop. Esto es, la combinación de la DCR junto con el valor neto de *drops*. Esta combinación de KPIs permite obtener un valor que, estableciendo el umbral adecuado, permite detectar aumentos de caídas de pequeño valor neto, pero alto valor proporcional al habitual, sin suponer multitud de falsos positivos en las celdas de poco tráfico. Además, este umbral, (de nuevo, si se establece de forma adecuada), permite

evitar falsos positivos de degradaciones que en realidad no son tales. Esto se explicará mejor en el apartado 3.2.

Así pues, en la empresa no solo se utilizan herramientas acordes al estado del arte en cuanto al análisis del rendimiento de la red, esto es, KPIs, y correlación entre ellos, sino que se le da un enfoque más práctico y orientado para el objetivo que se pretende, es decir, la detección de degradaciones, utilizando los Δ KPIs adecuados para satisfacer la QoE, y los intereses principales de la operadora.

Por otro lado, también se realizan correlaciones entre los distintos parámetros a la hora de analizar una degradación, por ejemplo, ver un aumento de caídas, y correlacionarlo con un aumento de tráfico, y a este con un cambio de alcances, y dar explicación a este con un cambio de SSRR que se realizó el día que se inició la degradación.

En cuanto a las posibles mejoras que se podrían proponer para mejorar la eficiencia, serían al respecto del descarte de falsos positivos. Existen una gran cantidad de falsos positivos en la detección de degradaciones por umbral de Δ KPIs, especialmente en LTE, donde muchos nodos de nueva integración hacen “saltar las alarmas” cuando todavía están en etapa de *first tuning* y optimización inicial, o simplemente los valores de la semana anterior son 0, al estar apagado todavía.

Lo ideal sería automatizar el sistema de obtención de la lista de presuntas degradadas, e ir introduciendo ciertos parámetros para descartar falsos positivos habituales (redes neuronales, *machine learning*, etc.), pero dado que esto requeriría bastantes recursos, a corto plazo, no es posible. Por ello, lo que se ha realizado, a modo de paliar el problema de los falsos positivos, es meramente un cruce entre la lista de presuntas degradaciones, y una lista de los nodos que todavía están en los grupos de integración, *first-tuning*, y similares, y por tanto sus degradaciones, aparte de no ser reales (los nodos de nueva integración no tienen datos anteriores para comparar, y al estar manipulando sus parámetros es probable que manifiesten un comportamiento errático los primeros días), no están asignadas al grupo de AVE y Carreteras, y por tanto es redundante reportar sus degradaciones.

Este cruce se realiza en la misma base de datos de estos nodos asignados a estos grupos, exportado en formato XSLX, con el comando “buscarV”. Modificando con el formato adecuado, se pueden obtener los nodos que todavía están en estos grupos de optimización y *first-tuning*, y así descartar lo que, en ocasiones, supone hasta el 80% de la lista de presuntas degradaciones. No es una solución óptima ni elegante, pero no supone ningún gasto a corto plazo y, siempre que se actualice periódicamente la base de datos, es efectiva, y ahorra tiempo y esfuerzo.

1.4 Objetivos y principales aportaciones del TFM

Los principales objetivos del TFM son los siguientes

- Determinar del sistema más adecuado para analizar degradaciones de rendimiento de la red.
- Realizar una descripción general de principales herramientas software utilizadas en el sector.
- Describir la metodología utilizada en la empresa para realizar este análisis de degradaciones en nodos de telefonía móvil.
- Identificar técnicas deductivas y asociaciones paramétricas para la obtención del origen de las degradaciones.
- Aplicar estas técnicas a casos reales.
- Obtener resultados tras ejecutar acciones en casos reales.
- Proponer mejoras para estos sistemas y metodologías.

1.5 Organización del documento

A continuación, se explicarán brevemente los apartados en los que se estructurará este trabajo.

Capítulo 1 - Introducción

En el capítulo 1, en el que nos encontramos, se realiza una introducción previa al propio trabajo. Se describe la empresa en la que se realiza el trabajo, y dónde se enmarca este. Tras esto, se explican los motivos que llevaron a la realización de este. A continuación, se ha realizado una revisión del estado del arte, donde se recopilarán algunos aspectos de la literatura al respecto de las distintas posibilidades a la hora de la evaluación del rendimiento de redes celulares, contrastándolos con la metodología utilizada en la empresa, así como alguna posible mejora a este sistema.

Tras la revisión del estado del arte, finalmente se plantean los objetivos a cumplir y las principales aportaciones que hará el TFM.

Capítulo 2 – Principales tecnologías consideradas

En el capítulo 2, se expondrán algunos aspectos teóricos relevantes para el trabajo.

Se empezará describiendo, brevemente, los aspectos considerados más importantes de las 3 tecnologías consideradas para el trabajo, siendo estas 2G, 3G y 4G. Se hace hincapié en la brevedad de esta revisión de las 3 tecnologías, dado que un análisis y explicación completo del funcionamiento de solamente una de estas, sería inabarcable para un TFM, además de ser totalmente innecesario este análisis en profundidad al no tratarse de una revisión bibliográfica de estas tres tecnologías.

Tras este análisis y explicación breve de los aspectos principales los 3 estándares de comunicaciones móviles considerados, se explican algunos conceptos y aspectos relevantes para la exposición y la comprensión del trabajo, tales como la descripción de las herramientas software, o algunos aspectos de nomenclatura.

Capítulo 3 – Análisis y diagnóstico de la red de cobertura del tren de alta velocidad

En este apartado, se detallará el procedimiento para analizar y diagnosticar las degradaciones de las celdas que prestan cobertura al AVE.

Inicialmente se detalla el proceso de obtención del listado de celdas presuntamente degradadas a partir de los valores de Δ KPIs. Tras esto, se habla de la necesidad de descartar “falsos positivos” en esta lista de presuntas degradaciones, de forma que se eviten análisis innecesarios posteriores. Una vez obtenida la lista de degradaciones reales, se procede a exponer el procedimiento para analizarlas individualmente, de forma que se obtenga el origen de la degradación. Tras esto, se exponen los casos más comunes de degradaciones, separados por KPI degradado.

Finalmente se muestran unos cuantos casos reales de degradaciones que se han obtenido mediante el procedimiento explicado, y que han sido consideradas de especial interés.

Capítulo 4 – Medidas correctoras y evaluación de su impacto

En este apartado se expondrán algunos casos reales de degradaciones que requirieron algún tipo de acción correctora interesante para ser solucionadas, así como los resultados tras la ejecución de estas acciones.



Capítulo 5 – Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se cerrará el trabajo comentando el cumplimiento de los objetivos marcados, junto con las conclusiones sacadas de este, así como las posibles continuaciones y líneas futuras que abre este trabajo.

Capítulo 2. Principales tecnologías consideradas

2.1 Introducción

Este trabajo trata de una tarea realizada sobre nodos reales implantados en la actualidad en España, concretamente en las líneas AVE. Las tecnologías que utilizan estos nodos son 2G, 3G y 4G, en las distintas bandas asignadas para cada una. En los siguientes subapartados se procederá a resumir los aspectos principales de estas tecnologías.

Al tratarse de tres tecnologías muy complejas, con muchos planos y enfoques para analizarlas, e infinidad de aspectos a comentar, y el hecho de que este trabajo no es una revisión bibliográfica del funcionamiento de 2G, 3G y 4G, por motivos de extensión inabarcable para un apartado de introducción teórica en un TFM, se hace especial hincapié en la brevedad a la hora de explicar estas tecnologías, limitándose a los pocos aspectos que se consideran más relevantes o relacionados con el trabajo. Así pues, no se trata de una explicación del funcionamiento de estos estándares, sino de una breve mención a algunas características consideradas relevantes o interesantes para contextualizar el trabajo.

Dicho esto, además de estas tres tecnologías, en este capítulo se comentarán algunos conceptos que se consideran importantes para seguir el trabajo a presentar.

2.2 2G

El estándar de GSM900 fue definido con sus especificaciones en 1990 por el *Groupe Spécial Mobile*, que pasó a llamarse *Standard Mobile Group* para no confundir con el estándar. Un año más tarde se estandarizó el DCS1800

Parámetro	GSM	DCS1800
Frecuencia Transmisión (Mhz)		
Móvil-> Base	890-915	1710-1785
Base -> Móvil	880-915 935-960 925-960	1805-1880
Tipo de Acceso Múltiple	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Método de Duplexado	FDD	FDD
Ancho de Banda por Radiocanal	200 KHz	200 KHz.
Nº Canales tráfico por Radiocanal	8	8
Nº Total de canales de tráfico	992-1392	2992
Canal Vocal:		
Tipo de Modulación	GMSK	GMSK
Vel. Transmisión	270,8 Kb/s	270,8Khz
Tipo de codificador de voz y velocidad	FR- EFR 13 Kb/s	FR- EFR 13 Kb/s
Canal de Servicio		
Tipo de Modulación	GMSK	GMSK
Vel. Transmisión	270,8 Kb/s	270,8

Figura 3 - Especificaciones 2G [11]

Como podemos ver, la única diferencia entre ambas frecuencias a nivel de especificaciones es la banda de frecuencias y los canales disponibles. Aunque no se entrará en excesivo detalle en estos parámetros, se pueden ver otras especificaciones comunes a GSM900 y DCS1800 en la Figura 4.

- Relación de protección cocanal: 9 dB
- Retardo compensable máximo: 223 ms
- Dispersión Doppler compensable: 200 km/h
- Dispersión temporal compensable: 16 ms
- PIRE máx. de la EB (por portadora): 500 W
- Potencia nominal de las MS: 2,5,8,20 W
- Estructura celular: 3/9; 4/12; omni(rural)
- Radio de células: 1 km hasta 35 km
- Acceso múltiple TDMA: 8 x 0,577 ms
- Codificación de canal: cód. bloque/conv. y entrelazado

Figura 4 - Parámetros 2G

2.2.1 Arquitectura

En este apartado se definirá la arquitectura básica de GSM. Esta tecnología consta de diversas entidades, cada una con su función específica, conectadas entre sí por distintos interfaces. Esta arquitectura se podría dividir inicialmente en varios subsistemas:

- MS: *Mobile station*. Terminal móvil del usuario que le permite conectarse e interactuar con la red.
- BSS: *Base Station Subsystem*. Conecta y maneja el tráfico y señalización entre MS y NSS a través del complejo enlace radio. También se encarga de gestionar y asignar los recursos radio.
- NSS: *Network and Switching Subsystem*. Se encarga de la conmutación, enrutado e interconexión con otras redes.
- OSS: *Operation and Support Subsystem*. Ofrecen apoyo de funciones de administración de red.

En cuanto al terminal móvil podríamos definir 3 partes:

- SIM: *Subscriber Identity Module*. Tarjeta con el módulo de identificación de abonado, que contiene la información del usuario, necesaria para identificarlo en la red para poder acceder a los servicios contratados.
- TE: *Terminal Equipment*. Equipamiento del terminal. Cámara, pantalla, etc. Sin funciones específicas para GSM.
- MT: *Mobile Terminal*. Interfaz radio (antenas, etc.). Permite conexión, *handovers*, transmisión, etc. Cada MT está identificado con un número de identificación único IMEI.
- TA: *Terminal Adaptor*. Comunica el TE con el MT.

El *Base Station Subsystem* constaría de las siguientes entidades:

- BTS: *Base Station Transceiver*. Estaciones base, nodos de transmisión, antenas del interfaz radio que conectan directamente con el usuario a través de la interfaz Um.



- BSC: *Base Station Controller*. Entidad que controla y monitoriza un conjunto de BTS, conectándose a ellos a través de la interfaz Abis, y los conecta al núcleo a través de la interfaz A, además de otras funciones (encriptación y decriptación, etc.).

En cuanto a la NSS, constaría de estas entidades:

- MSC: *Mobile Switching Center*. Se encarga del enrutado CS, establecimiento y terminación de conexiones, manejo de movilidad (*handovers*), manejo de costes para los clientes,
- GMSC: *Gateway MSC*. Entidad para interconectar distintas redes. Decide a qué red va la llamada en función de donde se encuentre el usuario destinatario.
- IWF: *Inter Working Function*. Permite conectar la red radio con la red fija PSTN.

Además, dentro de este subsistema existen varias bases de datos con información necesaria para la red:

- HLR: *Home Location Register*. Base de datos con todos los usuarios (SIM) permitidos en la red, así como distintos parámetros de interés sobre estos (información de tarifas, límites de uso, localización, etc.).
- VLR: *Visitor Location Register*: Copia temporal de HLR de los usuarios “visitantes” de la red que no constan en el HLR local. Esta copia existe mientras el usuario visitante esté en la red.
- EIR: *Equipment Identity Register*: Base de datos mundial con los MS (IMEI) permitidos en la red, así como los IMEIs bloqueados (robados, perdidos, etc.).
- AuC: *Authentication Center*: Entidad que proporciona claves para autenticar al HLR.

Finalmente, el OSS consta de:

- OMC: *Operation and Maintenance Center*. Maneja mensajes de error de la red, así como la carga de tráfico y configuración del interfaz radio.
- NMC: *Network management Center*. Gestión integral de la red. Monitorización de alarmas de alto nivel, etc.
- ADC: *Administration center*. Controla suscripciones de usuarios y facturación.

La estructura completa, así como la interconexión de las distintas entidades se puede observar en la Figura 5.

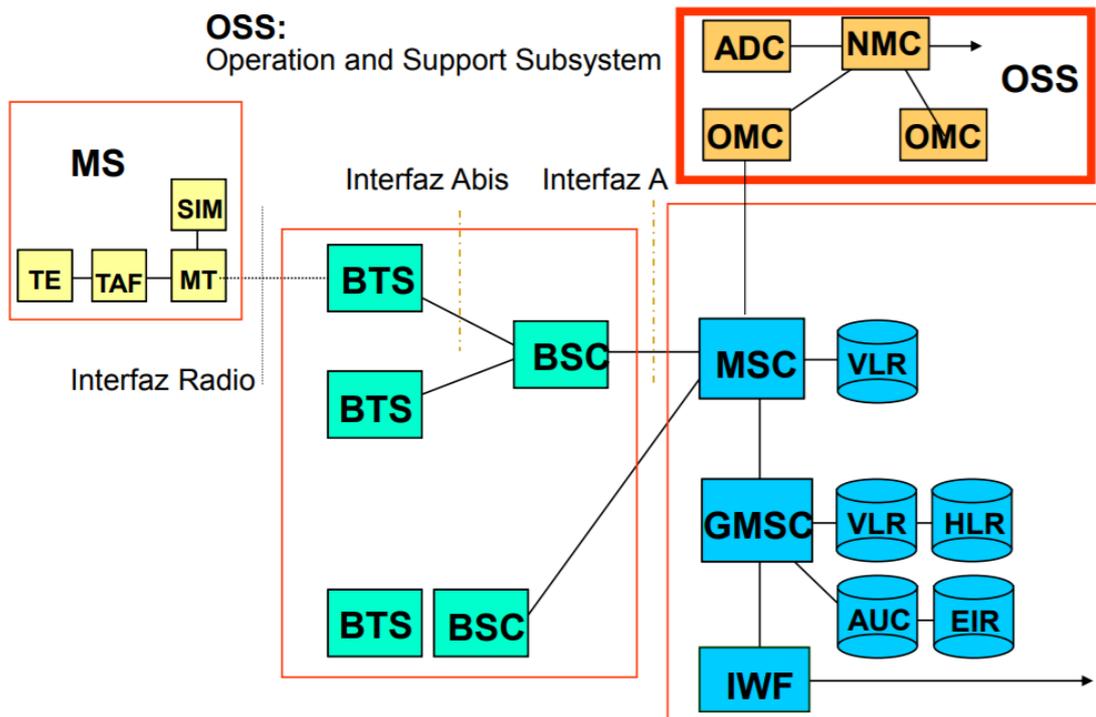


Figura 5 - Arquitectura GSM [11]

2.2.2 Canalización

Una vez definidas las principales entidades y sus funciones, se debería hacer lo propio con los distintos canales lógicos utilizados en GSM. Mencionar que un canal físico constaría de su canal de RF y su slot TDMA asignado, y un canal lógico sería la información que recorre este canal físico.

Los canales lógicos se pueden subdividir de diversas formas. En la Figura 6 se puede observar un gráfico resumen.

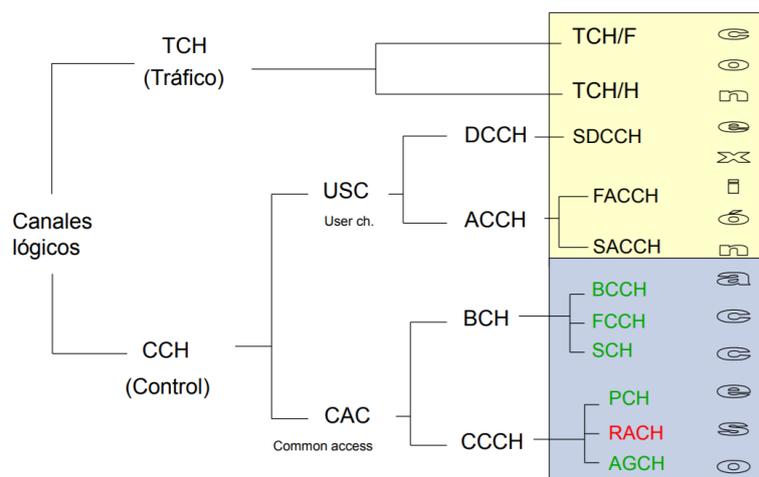


Figura 6 - Canales lógicos de GSM [11]

La primera subdivisión de estos canales sería entre canales de tráfico y canales de control.



2.2.2.1 Canales de tráfico

Como es lógico, los canales de tráfico transportan información de usuario, y pueden ser de voz o de datos

Respecto a los de voz, existen 2, según la tasa binaria utilizada para voz.

TCH/FS: Traffic Channel Full rate Speech: Canal de tráfico de voz, con codificación a 13 kbps.

TCH/HS: Traffic Channel Half rate Speech: Canal de tráfico de voz, con codificación a 6.5 kbps.

La diferencia entre uno u otro es transmitir en cada slot asignado, en el caso de FS, o en 1 slot de cada 2, en el caso de HS, permitiendo multiplexar el doble de usuarios en los mismos slots.

En los canales de datos tendríamos la misma posibilidad, teniendo distintas opciones para tasa binaria de FS y HS.

TCH/F: Full rate, con tasas de 9.6/4.8 kbps

TCH/H: Half rate, con tasas de 4.8/2.4 kbps

2.2.2.2 Canales de control

Los canales de control transportan información de monitorización, mantenimiento, gestión, señalización, etc. En definitiva, de control de la red. Estos pueden ser de difusión (BCH), comunes (CCH), de control dedicado (DCCH) o control asociado (ACCH).

2.2.2.2.1 BCH

Los canales de difusión o Broadcast Channels (BCH) son los siguientes:

BCCH: Broadcast Control Channel: Contiene información de interés para conexión o medidas de celdas vecinas. Información acerca de la identificación de la celda, de la *Location Area*, de las frecuencias de las celdas vecinas, secuencias de salto de frecuencia para *frequency hopping*, etc. También se transmiten los parámetros de acceso, como nivel de potencia a utilizar, algoritmo de acceso, información sobre el RACH, etc.

FCCH: Frequency Correction Channel: Junto con SCH se utiliza para sincronizarse con la estación base. En el caso de FCCH, se utiliza para sintonizar la frecuencia con la BTS. Se genera un pico en el espectro para que sea fácilmente detectable.

SCH: Synchronization Channel: Permite sincronizarse en el tiempo con la BTS a nivel de estructura de trama. Transmite identificadores de las tramas (secuencia de entrenamiento).

2.2.2.2.2 CCCH

Los canales de control común, o Common Control Channels (CCCH) están relacionados con el acceso a la red de los terminales, el establecimiento de una conexión, etc. Son los siguientes:

RACH: Random Access Channel: Se utiliza para solicitar acceso a la red cuando se está registrado en la red, pero no se tienen recursos asignados. Se utiliza también para medir el retardo del móvil para obtener la distancia a la que se encuentra la BTS para sincronizar la transmisión con la de todos los usuarios (*Timing Advance*, se utiliza también para medir los alcances). Este es el único canal cuya transmisión la origina el terminal.

PCH: Paging Channel: Utilizado para localizar al terminal en caso de que tenga una llamada entrante.

AGCH: Access Grant Channel: Se utiliza para responder a la solicitud de acceso del RACH, confirmando o denegando el acceso.

2.2.2.2.3 Control dedicado o asociado

Se utilizan para comunicación entre MS y BTS. Son los siguientes:

SDCCH: Standalone Dedicated Control Channel: Utilizado para señalización entre MS y BTS para establecer el enlace.

SACCH: Slow Associated Control Channel: Utilizado para mantener el enlace. Cada SACCH está asociado a un TCH o SDCCH. Información de potencia de transmisión, *time advance*, medidas para *handover*, etc.

FACCH: Fast Associated Control Channel: Reemplaza un canal de tráfico para utilizarlo para datos de control de importancia.

2.2.3 Procedimientos y protocolo de llamadas

Una vez descritos los 2 apartados más significativos de GSM en lo que atañe a este trabajo, aunque se podría extender la descripción de la tecnología describiendo mensajería, estructura de tramas, codificación a distintos niveles, etc. Para no hacer esta introducción excesivamente larga, se describirá un aspecto que se considera especialmente interesante en GSM, y es el protocolo y procedimientos utilizados para que la MS pueda conectarse a la red, realizar o recibir llamadas, o cualquier tipo de tarea necesaria para comunicarse.

Inicialmente la MS busca el canal de control en frecuencia FCCH para sincronizarse en frecuencia. Como se ha mencionado anteriormente, se puede localizar la frecuencia a sintonizar en el FCCH gracias a que este genera un pico en el espectro que es fácilmente detectable.

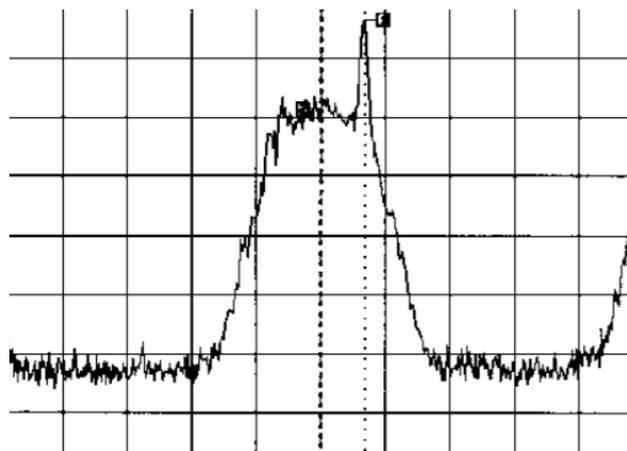


Figura 7 - Pico en frecuencia de FCCH [11]

Después, se localiza el canal de sincronización SCH para realizar la sincronización en tiempo. Sin entrar en detalles, se comparte información acerca del BSIC (código de identificación de la BTS), el RFN (número de trama reducido), y una vez se está sincronizado en frecuencia y tiempo, se realiza la lectura de información de la red a través de parámetros leídos en el BCCH. En el BCCH se manda la lista de las portadoras BCCH vecinas. A través de los intervalos libres entre la



transmisión de tramas en DL o UL se miden las portadoras de esta lista, y se decodifica el SCH de estas vecinas para poder identificarlas.

Una vez realizadas estas tareas iniciales, se procede a la actualización de los registros. Inicialmente, dado que no se tiene todavía un canal asignado, se solicita un canal dedicado a través del *Random Access Channel*. En caso de que la NCC de respuesta afirmativa al usuario de la MS (identificación OK sin bloqueo por IMEI ni similares), la BTS le asigna un canal dedicado de control a través del *Access Granted Channel*.

A través de este canal de control SDCCH se actualiza la VLR con la localización, se realiza la autenticación, se establece el cifrado, y una vez realizado este establecimiento de conexión, se libera el SDCCH. Finalizado este procedimiento, ya se estaría registrado en la red y se podrían realizar y recibir llamadas. Para realizar una llamada, se sigue un procedimiento similar al descrito anteriormente en cuanto a conexión con la red. Inicialmente se solicita un canal dedicado a través del RACH, y se asigna por parte de la BTS a través del AGCH.

Habiendo ya establecido el SDCCH, se solicita a través de este el establecimiento de la llamada. La red solicitará la autenticación del usuario, y una vez autenticado, se cifrará la transmisión. Ya en modo cifrado la MS indicará el número destinatario de la llamada, tras lo cual la BTS realizará el encaminamiento y la asignación del canal de tráfico, con su respectivo slot en trama, y para realizar la conexión se asigna un FACCH. Cuando se asigna, a través del FACCH, se indica la llamada, y si esta se establece de forma correcta, se conecta con el usuario destino, y se intercambia la información de voz a través del TCH asignado anteriormente.

En el otro lado, en el receptor de la llamada, inicialmente se recibiría una búsqueda a través del Paging Channel. Debido a que en el momento de recibir la llamada el móvil destino no tiene canal asociado, se accede también al RACH, se obtiene un SDCCH, se asigna un FACCH, y se realizan todas las solicitudes y trámites igual que en caso de realizar la llamada (modo cifrado, autenticación, etc.) y se asignaría un TCH.

Finalmente, teniendo ya asignado el TCH, se indica al usuario de la MS destino que está recibiendo la llamada (el móvil sonaría), y en caso de que este acepte la llamada, se intercambiará la información de voz a través del TCH.

2.2.4 GPRS

General Packet Radio Service, es el nombre dado al servicio de datos (*Packet Switching PS*) en 2G gracias al cual se podía acceder internet, entre otros servicios de datos. Para no extenderse demasiado, dado que se engloba dentro de 2G, se describirán brevemente las entidades de la arquitectura adicionales que supone GPRS.

GPRS utiliza la misma red de acceso que GSM, y parte de la red troncal, pero añade ciertas entidades que son las que habilitan a la red para la transmisión de paquetes. Cuando se implantó esta tecnología sobre una red GSM ya existente, las estaciones base, los BSCs, las bases de datos, etc. Solo requirieron una actualización del software para poder utilizar GPRS, pero como se ha comentado, en la red troncal se requirieron nuevas entidades para dar soporte al servicio GPRS.

Estas nuevas entidades son:

- SGSN: Serving GPRS Support Node. Está conectado a la BTS que sirve al usuario. Se encarga de actualizar la localización, y de realizar el proceso de control de acceso y seguridad. Envía y recibe el tráfico de y a UE y GGSN.
- GGSN: Gateway GPRS Support Node. Se trata del enlace entre la red GPRS y el resto de redes PS externas (internet, etc.). Enruta los PDUs al SGSN destino. También convierte los paquetes al protocolo PS correspondiente. Asigna las IPs a los usuarios y se encarga de la autenticación.



Así pues, GPRS podría definirse como un añadido a GSM, para soportar, además de llamadas CS, datos PS. Después de GPRS vino EDGE, también conocido como 2.75G, que ofrecía mejoras respecto a sus antecesores, pero por motivos de extensión solamente se nombrará su existencia y pasará al siguiente apartado.

2.3 3G

2.3.1 Introducción e historia

Se podrían distinguir 3 principales releases en cuanto a 3G/UMTS:

- UMTS R99
- HSPA
- HSPA+

Siendo las 2 últimas mejoras respecto a la R99.

UMTS significa *Universal Mobile Telecommunications System*, y es la tecnología de comunicaciones móviles tercera generación conocida comúnmente como 3G. Su desarrollo vino marcado por, además de necesitar mayores tasas binarias debido a los nuevos servicios multimedia como en todas las releases importantes, la necesidad de transmitir datos sobre IP a través del *core* (los datos GPRS iban separados de la red CS de llamadas de voz de GSM) para una mayor eficiencia espectral de conmutación de paquetes respecto a la conmutación de circuitos.

Este estándar fue creado por la 3GPP, organización fundada por distintas organizaciones de estándares de telecomunicaciones de todo el mundo, con el objetivo de difundir y desarrollar este nuevo estándar de tercera generación (3G, de ahí el nombre 3GPP, o *Third Generation Partnership Project*).

La primera decisión sobre este estándar se tomó incluso antes de crear la 3GPP, y fue la de elegir la técnica de acceso al medio. Debido a su mayor eficiencia espectral respecto a TDMA y FDMA, se seleccionó WCDMA como interfaz radio en Japón y Europa, dado que es capaz de utilizar todo el espectro todo el tiempo. Este interfaz radio se detallará en el apartado 2.3.2.1.

Después de haber establecido esto, las distintas organizaciones de estandarización de telecomunicaciones (ETSI en Europa, T1 en EEUU, etc.) formaron el 3GPP para estandarizar el que sería el protocolo de tercera generación para comunicaciones móviles.

Para no realizar un estándar cerrado y opaco a mejoras, se decidió adoptar una estructura por “releases”, es decir, definir las especificaciones básicas, e ir aportando mejoras y funcionalidades adicionales conforme se iba desarrollando el estándar. La *release* inicial, donde se adoptaron las especificaciones principales, es la conocida como *Release 99* o R99, donde se centraron en la interfaz radio, conservando la parte *core* de GSM. La parte *core* se abordaría en la Release 4.

Las releases 5 y 6 son HSDPA y HSUPA, evoluciones básicamente software que mejoran UMTS, de los que se hablará en apartados posteriores. El mismo caso es la *Release 7*, conocida como HSPA+.

2.3.2 UMTS R99

Como se ha mencionado anteriormente, la R99 definía las características y especificaciones básicas del estándar, y se centró en el interfaz radio. Así pues, a lo largo de este apartado se nombrarán y definirán de la forma más breve posible, intentando evitar extenderse de forma innecesaria, estas características principales.

2.3.2.1 Interfaz radio

En primer lugar, como ya se ha mencionado, la interfaz radio de UMTS, WCDMA sería la interfaz más importante de UMTS, y la primera característica definida, incluso anterior a la formación de 3GPP.

Concretamente se utiliza CDMA de banda ancha, en la que los usuarios son multiplexados por código y todos utilizan todo el espectro disponible, haciendo que el factor de reuso de frecuencia sea de 1 (100%).

El utilizar todo el espectro disponible, conocido como espectro ensanchado, permite alcanzar grandes anchos de banda, de hasta 3.84 MegaChips por segundo (un chip es un bit de la secuencia de la información ya codificada con el *scrambling code* correspondiente), y altas velocidades de transmisión, hasta 2Mbps en R99.

R99 soporta tanto FDD como TDD, pero predomina FDD (las transmisiones de UL y DL utilizan portadoras distintas).

La transmisión es asíncrona, es decir, no es necesario que los nodos y los móviles (NodeB y MS en este caso) se sincronicen en el tiempo, como era necesario en 2G.

2.3.2.1.1 WCDMA

En cuanto a cómo es posible utilizar todo el espectro por todos los usuarios al mismo tiempo gracias al uso de WCDMA como técnica de acceso múltiple al medio, habría que hablar primero de los códigos ortogonales.

Los códigos ortogonales son secuencias con las características de los vectores ortogonales, cuyos productos escalares de sus coordenadas se anulan. Es decir, que, en caso de tener una combinación lineal de dos códigos ortogonales distintos, estas se anularían, y recibiríamos información nula. Mientras que, con dos combinaciones lineales del mismo código ortogonal, obtendríamos el vector de combinación lineal original, es decir, la información, con la que se ha combinado linealmente el código ortogonal.

De esta forma, asignando un código ortogonal a cada usuario, y transmitiendo su información combinada con este código ortogonal, en recepción se podrá aislar su información de la del resto sintonizando este código ortogonal y multiplicando toda la información recibida del canal por dicho código, anulando la información de todos los usuarios excepto la del usuario que tenga este código asignado.

Estos códigos ortogonales pseudoaleatorios son de dos tipos. El primer tipo son los llamados Scrambling Codes. Estos códigos no son perfectamente ortogonales entre sí (aunque su correlación entre sí es bastante baja) ni ensanchan la señal, sino que son secuencias pseudoaleatorias que sirven para identificar a los usuarios y celdas.

El segundo tipo son los códigos de canalización. Estos códigos son los que ortogonalizan la señal, y se asignan a los canales. Estos sí ensanchan la señal, y su longitud (denominada *spreading factor*) determinará la longitud en chips de cada bit de información una vez codificado.

De esta forma, se consigue identificar y ortogonalizar a los distintos usuarios conectados a una misma celda, y también a los canales de datos y de control de un mismo usuario.

2.3.2.2 Receptor RAKE

Otra característica importante de UMTS es el receptor RAKE. Intentando sintetizar lo máximo posible, se simplificarán una serie de conceptos para explicar el objetivo del receptor RAKE.

En el entorno de la radiofrecuencia, se sufre el efecto de la propagación multicamino. La señal radiada por el nodo no llega al usuario de forma directa, sino que a este le llegan multitud de componentes reflejadas en el entorno. Cada componente multicamino llega al receptor de forma distinta, siendo la más potente la componente directa (en caso de haber visión directa), y cada una

de estas es reflejada por distintos objetos según la geometría del entorno, y llega al receptor en un tiempo distinto, por lo que cada una llegará con una fase distinta.

Esto puede causar que, en caso de que la geometría del entorno causara que las distintas componentes multicamino, por efecto de la interferencia destructiva, se anularan, tendríamos una señal nula. En caso de que el usuario se esté moviendo, la geometría de su entorno, y, por tanto, las componentes multicamino van variando, y es posible que en algún momento coincida con un punto en que las componentes se anulen. Este efecto es conocido como fading, de Rician en caso de haber visión directa con la antena, y de Rayleigh en caso contrario, pero puede darse en los dos casos (todas las componentes se anulan entre sí).

Para evitar esto, el receptor RAKE utiliza sus *fingers*, subreceptores retrasados en el tiempo ($0.26\mu\text{s}$), para obtener varias de estas componentes multicamino, y desfazarlas para que interfieran de forma constructiva en lugar de destructiva, amplificando en lugar de atenuar la señal. Esta técnica se conoce como "Maximum Ratio Combining", y es una técnica de diversidad multi-camino que sirve para paliar el problema del fading. Sin entrar en detalles, la estructura de este receptor sería la de la Figura 8.

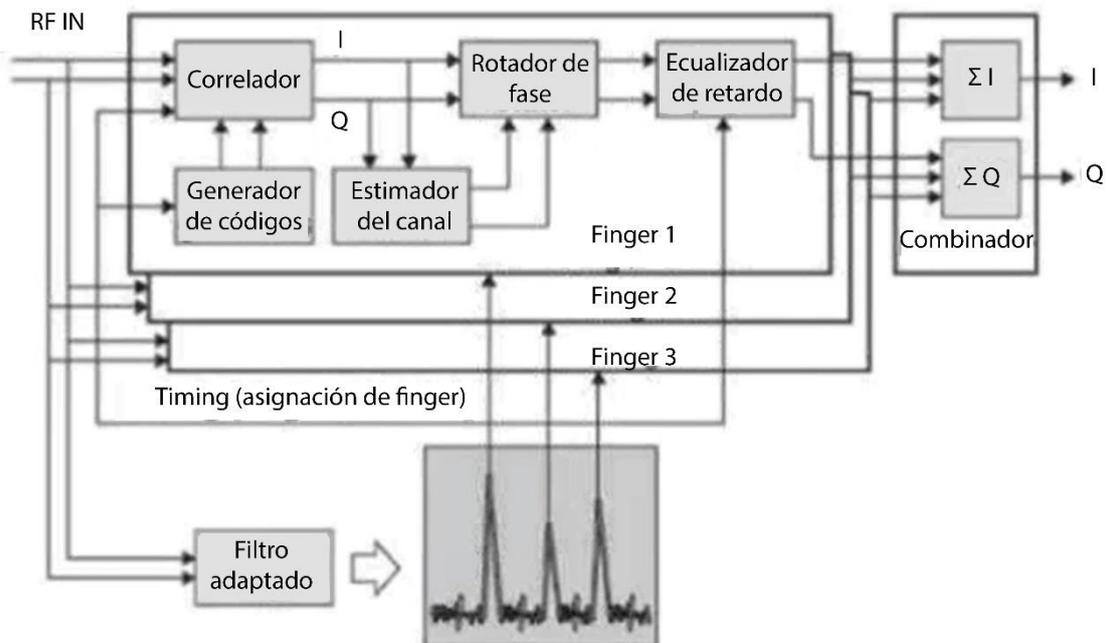


Figura 8 - Esquema Receptor RAKE [11]

Se trata de un esquema con 3 *fingers*, aunque los más comunes son de entre 4 y 6 *fingers* (a más *fingers*, mejor ecualización). El filtro adaptado detecta los picos, adaptando los *fingers* a distintos retardos. El bloque es el que procesa la señal, aplica el desfase, y finalmente realiza la combinación de las componentes.

Así pues, UMTS no solo solventa la problemática del efecto multicamino, sino que la aprovecha para mejorar la calidad final de la señal recibida combinando las distintas componentes mediante técnicas de diversidad multicamino.

2.3.2.3 Power control

Otra técnica interesante definida en R99 y utilizada en UMTS es la del Power Control. Consiste en la capacidad del UE de adaptar su potencia en función a la distancia del nodo B, para mantener

un cierto nivel de SNR, a partir de los algoritmos de estimación en el nodo B. Esto permite mantener la interferencia al mínimo, sin que los UE radien potencia excesiva, contaminando el espectro compartido (como se ha mencionado, todos los usuarios comparten todo el espectro disponible) de forma innecesaria.

Con esto también se evita que usuarios cercanos al nodo B, con señales potentes, bloqueen a usuarios lejanos, con señales que llegan más débiles (conocido como *near-far-effect*).

Open loop/slow power control

Control de potencia inicial. Podría definirse como “ajuste grueso”. Esta estimación se realiza mediante la señal piloto recibida. Se estiman las pérdidas para intentar compensarlas.

Closed loop/fast power control

Podría definirse como “ajuste fino”. El UE da *feedback* de la señal recibida, por lo que puede ajustarse de forma más precisa. Se realiza 1500 veces cada segundo. Se utiliza para paliar el *fast fading*. Esto lo realiza mediante 2 tipos de ajustes:

- Inner Loop power control. Compara el nivel de señal recibido y el nivel aceptable o deseado.
- Outer Loop power control. Ajusta el valor aceptable o deseado para el *Inner Loop* a partir de la tendencia (ascendente o descendente) del Bit Error Rate. En caso de que este aumente demasiado, se ajustará un nivel de SIR más alto para el *Inner Loop power control*, y viceversa.

2.3.2.4 Handovers

Otro aspecto interesante a abordar acerca de UMTS es su gestión de la movilidad, o lo que es lo mismo, de los handovers. Un handover es un traspaso del servicio (durante una llamada, una conexión de datos, en estado IDLE, u otros) de una celda a otra de forma que se mantenga la continuidad de este servicio. Se pueden clasificar según frecuencias (intra o *interfrequency*), tecnologías (2G-3G, 3G-4G), según el evento (CSFB, SRVCC), etc.

En el caso de handovers *inter-frequency* o *inter-system*, solo es posible realizar *Hard Handover*. Es decir, previamente a conectarse a la nueva celda, se libera la conexión RAB y RRC (de forma extremadamente breve y dejando explicaciones más largas, RRC es la conexión inicial de datos de control y señalización, y RAB es la conexión de datos de usuario), y posteriormente se crea una nueva. Debido a esto, se corta brevemente el servicio. En caso de realizar un handover en la misma tecnología y frecuencia (por ejemplo, entre dos celdas U2100), es posible realizar Soft Handovers.

El Soft Handover permite que el UE esté conectado a dos o más NodeBs al mismo tiempo, antes de realizar el cambio. Esto permite que se realice el handover sin corte de servicio. En el momento de estar conectado a varios nodos, el usuario transmite la misma señal a ambos, y viceversa, de forma que el UE combina las señales, mejorando la SNR, y solo se necesite la correcta recepción de una señal Uplink. Existe una variación llamada *Softer Handover*, que sería el mismo concepto que el *Soft Handover*, pero en este caso realizando un traspaso entre dos celdas pertenecientes al mismo nodo, y estando conectado a ambas en un momento determinado.

Las celdas o nodos a los que el usuario está conectado simultáneamente se conocen como “Active Set”, mientras que las vecinas detectadas se conocen como “*Neighbor Set*”. Una celda solo podrá entrar en el “Active Set” si es vecina de al menos una celda que actualmente está en el “Active set”. Por tanto, es necesario configurar las vecinas de forma correcta, para evitar problemas de interferencia en caso de tener una señal fuerte de una celda que no consta como vecina, pero sí está en la zona de cobertura.

2.3.2.5 Canalización

Al igual que con GSM, se debería hablar brevemente de la canalización de UMTS, describiendo los principales canales lógicos de los que consta. Primeramente, cabría diferenciar entre dos tipos de canales: Dedicados y Comunes. Como sus propios nombres indican, los canales dedicados son utilizados por un único usuario al mismo tiempo, mientras que los comunes son compartidos entre múltiples usuarios.

Los canales más importantes para la transmisión PS en UMTS son los siguientes

Canales dedicados

DCH

Dedicated Channel. Transporta datos de usuario e información de señalización del usuario. Caracterizado por:

- *Fast power control*
- *Soft HO*
- Cambio rápido de *bitrate* en *uplink*
- *Spreading factor* fijo en *downlink*, aunque con la posibilidad de utilizar DTX (*Discontinuous Transmission*), parando la transmisión en algunos *slots*, o *rate matching*, repitiendo o eliminando algunos bits de datos para modificar la tasa.

Canales comunes

FACH

Forward Access Channel. Transporta datos PS e información de control común. Debido a la importancia de los datos del FACH, se utiliza un *spreading* factor alto, a modo de redundancia para corrección de errores. Esto conlleva una baja tasa de transmisión, pero esto se puede compensar mediante el uso de más de un FACH en cada celda.

BCH

Broadcast Channel. Transmite información de configuración de la red o de una celda determinada a todos los usuarios. Por ejemplo, transmite la información necesaria para que el usuario pueda conectarse.

PCH

Paging Channel. Información de paging para localizar al terminal (llamadas entrantes, etc.)

RACH

Random Access Channel. Canal utilizado inicialmente para solicitar una conexión cuando no se tiene esta (estado IDLE).

DSCH

Dedicated Shared Channel. Puede transportar información tanto de control como de datos, y es utilizado por varios usuarios de forma compartida.

Se detalla más el trasvase de tráfico entre distintos canales y el uso de estos en el siguiente apartado.

2.3.2.6 Estados

Dependiendo de las acciones que esté realizando, y el tipo de conexión que tenga con la red, el UE puede estar en distintos estados, dependiendo de las decisiones de los algoritmos *Radio Resource Management* del RNC. En este apartado se nombrarán y describirán brevemente estos estados.

2.3.2.6.1 Localización

Antes de empezar con los estados, sería conveniente hablar del tema de la localización. Donde se encuentra el móvil y donde lo ve la red es un concepto importante, especialmente para transiciones de estado. Cuando el UE detecta que ha cambiado de celda, informa a la celda de su nueva localización, utilizando “*location identifiers*” en mensajes específicos. Si se cambia de cualquier celda/área, se informa con un “*cell update*” o similares. Estos son los posibles “*location identifiers*”.

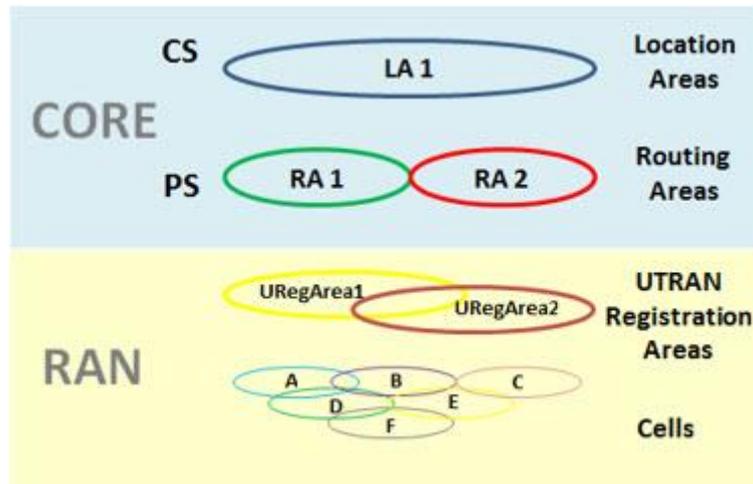


Figura 9 - Figura resumen de áreas de localización [12]

2.3.2.6.2 Modo off (dead) y avión

Cuando el móvil está apagado, para la red es como si no estuviera. En caso de activar el modo avión, se desactivan todas las conexiones del teléfono, y para la red es como si estuviera apagado.

2.3.2.6.3 Modo idle

El móvil está encendido, la red lo ve, y él ve la red, y tienen la posibilidad de interactuar. El móvil puede “acampar” en una celda, que es cuando ya ha buscado y encontrado la red, y ha obtenido la información básica de esta (nombre del operador, tecnología, cobertura, etc.).

En este estado no se tiene un canal dedicado, por lo que no se pueden realizar ni recibir llamadas. No se tiene conexión activa con la red, solo se transmite y recibe lo mínimo (información de la red). Cualquier transmisión de datos requerirá el establecimiento de una conexión de control para empezar a transmitir.

También se re-seleccionan celdas en caso de perder cobertura (HO). Y se informa a la red de la localización (*Location Area o Registration Area*).

2.3.2.6.4 Modo connected

Se entra en este modo desde el idle, cuando se intenta realizar una llamada o se recibe una, o se transmiten o reciben datos. Inicialmente se establece una conexión de control (RRC). Una vez se establece esta, el móvil pasa a modo connected. Esta conexión debe ser discontinua (la señalización congestionaría mucho si fuera continua).

Cuando un UE 3G está en modo conectado, su nivel de conexión con la UTRAN se determina según requisitos de QoS del RAB activo, y las características de tráfico. Debido al gran número de usuarios conectados, se requieren mecanismos para minimizar este estado, y UMTS se diseñó para soportar el gran crecimiento en transmisión de datos.

Pero, aunque lo permite, no fue diseñado para soportar la transmisión de gran cantidad de pequeños fragmentos de datos (mensajería instantánea, RRSS, etc.), cada uno de los cuales requiere una conexión con todos los datos de señalización asociados, y el tráfico extra que esto supone (además del consumo, etc.).

Para ayudar a contrarrestar este problema, existen estos estados dentro del modo connected:

- CELL_DCH
- CELL_FACH
- CELL_PCH
- URA_PCH

Estado CELL_DCH (UTRAN)

Conectado en 3G.

Canal dedicado en UL y DL. El UE utiliza el canal dedicado o el compartido HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) y/o E-DPCH (Enhanced Dedicated Physical Channel).

Conocido a nivel de celda. Ya que está en su active set.

Ideal para transmisión de grandes cantidades de datos. Pero en establecimientos y re-establecimientos continuos (mensajería, etc.) puede hacer que el sistema congestione por el exceso de señalización. De ahí que exista un estado auxiliar, el CELL_FACH para estos casos de conexiones breves y rápidas.

Transiciones a Idle o CELL_FACH (o PCH). Cuando se deja de transmitir, se puede volver a idle (cortando la conexión RRC) o a CELL_FACH (si el buffer de datos a transmitir es más pequeño que un umbral).

Estado CELL_FACH

Canal compartido.

Ideal para pequeñas transmisiones de datos. En UL se utiliza el RACH (Random Access Channel), transmitiendo mensajes RACH de forma continua. En DL se utiliza el FACH (Forward Access) constantemente.

Conocido a nivel de celda. Se sabe que está en la celda donde hizo su último *Cell Update*.

Transiciones a Idle o CELL_DCH (o PCH). Pasa a Idle si deja de transmitir y corta el RRC, o a CELL_DCH si el buffer tiene una cantidad de datos mayor a la de cierto umbral.

Puede que incluso con estas medidas paliativas la capacidad no sea suficiente. En caso de que no existan canales libres, se puede transferir al usuario a un estado de paging a través del Paging Channel PCH (CELL_PCH y URA_PCH), y así no pierden la conexión RRC, y evitan empeorar la congestión de la celda con mensajes de restablecimiento. En estos estados solo “esperan a ser atendidos”, no pueden obtener servicio.

Estado CELL_PCH (UTRAN)

PCH: Paging Channel.

Es parecido al estado idle, no transfiere datos, solo que en este caso sí se conserva la conexión RRC (aunque prácticamente no se usa), y se informa de los cambios de localización a nivel de celda, para lo cual cambia a CELL_FACH.

Al mantener el RRC, cuando se pueda obtener un canal libre, se conectará más rápidamente y con mucha menos señalización.

Por tanto, en este estado, la conexión:

Es conocida a nivel de celda.

No se transmiten datos

Realiza transición a Idle o CELL_FACH. Si transcurre un cierto umbral de tiempo sin transmitir datos, se pasa a Idle. Si no, se pasa a CELL_FACH.

Estado URA_PCH (UTRAN)

Básicamente igual que el CELL_PCH, solo que los *location updates* se hacen al cambiar de URA. Es decir, se transmite incluso menos frecuentemente que CELL_PCH, aunque como con esta, se mantiene la conexión RRC.

Conocida a nivel de URA. Para el URA *Update* se cambia al CELL_FACH.

No se transmiten datos.

Transiciones a Idle o CELL_FACH. Igual que CELL_PCH.

2.3.2.6.5 Batería y *timers*

Un aspecto interesante es la batería que consumen los terminales en los distintos estados. Para tener una referencia, estos son los valores de consumo de batería en cada estado:

- OFF = 0
- Idle = 1
- CELL_DCH = 100 (es decir, 100 veces más que en idle)
- CELL_FACH = 40
- CELL_PCH < 2 (dependiendo de la relación de DRX a Idle y la movilidad)
- URA_PCH ≤ CELL_PCH

Así pues, la diferencia entre CELL_DCH y CELL_FACH, del 60%, y de los estados de paging, del 98%, hacen entender mejor por qué se utilizan estos, además de para ahorrar ancho de banda que no se utiliza, para ahorrar una gran cantidad de batería. Aun así, este sistema de transiciones entre estados no es perfecto, y también es interesante hablar sobre los períodos máximos para cambiar entre estados, llamados *timers*.

El tiempo de inactividad para pasar de CELL_DCH a otro estado de energía menor se llama T1 (término informal, no 3GPP, pero comúnmente utilizado en el sector). Una vez pasa este tiempo sin transmitir, se envía el UE a CELL_FACH o CELL_PCH. El mismo caso es T2, *timeout* para pasar del estado Cell_FACH, T2 a CELL_PCH o URA_PCH, y T3 para pasar de CELL_PCH o URA_PCH a Idle.

Estos tiempos son así debido a que se le otorga una mayor probabilidad de transmitir datos de nuevo al UE que transmitió datos de forma más reciente. Esto se hace inadecuado recientemente debido al aumento de aplicaciones de mensajería instantánea, email, RSS, etc. Que requieren actualizaciones periódicas (cada 2 o 3 minutos) y transmisiones muy pequeñas (1kb o menos). Esto significa que en esos minutos se pasará de CELL_DCH a Idle, pasando por todos los estados, y requiriendo una reconexión RRC, y todo para transmitir 1kb para enviar un mensaje, haciendo este sistema muy ineficiente.

Se tardan 2 segundos en pasar de Idle a CELL_DCH, tiempo conocido como RAB *activation time*. Mientras que se tardan 0.25 segundos en pasar de PCH a CELL_FACH. Aunque esto último requiere que la red soporte PCH. Se debe llegar a un compromiso entre consumo de batería/recursos radio, y calidad de experiencia (tiempo de reconexión, o transmisión instantánea).

El problema es que siempre habrá tiempos muertos hasta pasar a Idle, por lo que se malgastan recursos, ya que el UE no interacciona con el RNC, no hay “diálogo” en el que el UE indique que ha acabado de transmitir y puede volver a Idle. Esto se pensó tarde en R99, y no fue hasta la reléase 2008/2009 que se implementó *Fast Dormancy* (FD), un sistema en el que el UE puede indicar que no necesita nada más y se salta los *timers*, volviendo a estado *Idle*.

2.3.2.7 Arquitectura

La arquitectura de UMTS se basa en la de GSM, pero con mejoras en la red de acceso.

A grandes rasgos, en R99, el núcleo de la red, o Core Network (CN) se mantiene respecto al de GSM. En cuanto a las entidades de acceso, que se describirán a continuación, el Radio Network Controller se correspondería al antiguo BSC de GSM, y el Nodo B con el BTS.

La arquitectura de UMTS se divide en estratos y en planos.

- En estratos, se divide en el *Access Stratum*, es decir, la red de acceso, y el *Non Access Stratum*, es decir, el resto de protocolos no pertenecientes al AS (solamente *core* y terminales).
- En planos, existe el plano de control, que transporta información de señalización y control, y el plano de usuario, que transporta la información de datos de usuario.

RNC

Se dedica a controlar los recursos y su distribución. Entre sus tareas está el control de los Handovers, el Power Control, la admisión, la parametrización de QoS, el establecimiento de potencia en los terminales (FPC), la gestión de los recursos radio, la asignación de *scrambling codes*, el control de congestión, etc.

Node B

Tiene poca “inteligencia”, es decir, pocas capacidades y tareas de control, dado que en la arquitectura de UMTS se delega ese rol al RNC. Su principal función es la conversión de la información del interfaz radio para enviarlo en Uplink al RNC, y viceversa. Otras funcionalidades serían el *Inner-loop power* control, y la capacidad de realizar medidas de la red (parámetros estadísticos como caídas, bloqueos, tráfico, disponibilidad, accesibilidad, etc. Los cuáles serán utilizados para el análisis de la red en este trabajo).

2.3.3 HSPA

De la misma forma que GPRS y EDGE fueron evoluciones de GSM, tanto en servicios como en rendimiento, *High Speed Packet Access* o HSPA es una evolución de UMTS en cuanto a capacidad de transmisión. HSPA se compuso en 2 releases, *Release 5* con HSDPA (*downlink*), y *Release 6* con HSUPA.

2.3.3.1 HSDPA

En la *Release 5* se introdujeron las mejoras para el enlace descendente que conformaron HSDPA. A continuación, se mencionarán y comentarán las más importantes:

- Nuevo canal HS-DSCH. High Speed Downlink Shared Channel. Evolución del DSCH de UMTS, el cual se eliminó del estándar debido a la falta de éxito de su implementación.



- *Link adaptation*. El UE envía paquetes de información del estado del canal y de su calidad, mediante mensajes “*Channel Quality Indicator*” o CQI. Gracias a esto, se puede adaptar la modulación utilizada, ya que una modulación más compleja necesita una cantidad de energía por bit superior para garantizar un mismo VER. Así pues, al mejorar el CQI, se pueden utilizar modulaciones de orden superior, que permiten mejores tasas.
- Trama más pequeña. Esta tiene un TTI (*Transmission Time Interval*) menor, por lo que mejora la eficiencia en transmisión de datos.
- Retransmisiones de capa física
- Cuando se realiza un cambio de celda, se vacían todos los buffers de TX, aumentando el *delay* por necesitar retransmitir RLC. Esto puede incluso causar una interrupción del servicio. Esto, unido a que el UE solo puede conectarse a un solo nodo al mismo tiempo, hace que HSDPA no sea compatible con el *soft Handover*.

2.3.3.2 HSUPA

Tras la implementación en *downlink*, se definió en uplink HSUPA en la *Release 6*. Se adoptaron los mismos principios que en HSDPA, pero aplicándolos al enlace ascendente.

Además, en HSUPA se introduce nuevos canales evolucionados de los existentes:

- *Enhanced DCH*, o E-DCH, con sus correspondientes E-DPDCH y E-DPCCH para datos y control, respectivamente. Se evolucionan los canales dedicados para soportar las características y mejoras que ofrece HSUPA.
- E-DCH Absolute Grant Channel (E-AGCH) y E-DCH Relative Grant Channel (E-RGCH) para tareas de *scheduling*.
- E-DCH HARQ *indicator Channel* (E-GICH). Para realizar control de retransmisiones de paquetes.

Existen muchos más detalles, características y particularidades en cuanto al funcionamiento de HSPA, pero de nuevo, la extensión impide extenderse en exceso, debido a que no se trata de un trabajo bibliográfico de tecnologías celulares.

2.4 4G

Siendo su nombre comercial 4G, LTE, aunque por el peso que tuvo Ericsson en las decisiones a la hora de diseñar el protocolo hicieron que se bromeara con que el origen de estas siglas es el de “*Listen To Erik*”, en relación a Erik Dahlman de Ericsson, en realidad significan *Long Term Evolution*. Esta evolución a largo plazo es una, valga la redundancia, evolución, de los sistemas 3G ya existentes.

Los objetivos a cumplir eran un mayor rendimiento, que el sistema fuera compatible con las redes *legacy*, y que tuviera una gran amplitud de aplicaciones. El mayor rendimiento, o lo que es lo mismo, mayor capacidad y rendimiento de la red, se pretendía alcanzar mediante nuevas modulaciones y técnicas de procesamiento digital. Además, se intentó simplificar la red a un diseño “All-IP”, a fin de reducir la latencia.

A continuación, al igual que con las otras tecnologías, se presentará brevemente la arquitectura simplificada y las principales características de LTE.

2.4.1 Interfaz radio

De la misma forma que 2G tuvo TDMA/DMA, y 3G WCDMA, 4G utiliza un nuevo sistema de acceso al medio en *downlink*, siendo este *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). El motivo de utilizar OFDMA como nueva interfaz radio, es su robustez ante la interferencia ISI (*Inter Symbol Interference*) en un canal tan dispersivo como el canal radio, ya que, como se ha comentado anteriormente, existe el problema multicamino, entre otros, lo cual se traduce en fading.

OFDMA utiliza un método de modulación “multi-portadora”. Los sistemas multi-portadora dividen la información a transmitir en varias corrientes, cada una de las cuales es modulada por una subportadora. El “secreto”, es que esto aumenta el tiempo de símbolo por un factor igual al número de subportadoras, lo cual reduce la ISI. En principio esto es ineficiente, ya que aumentar el tiempo de símbolo baja la tasa, y reducir la ISI a costa de reducir la tasa por el mismo factor que el número de subportadoras no es viable.

Así pues, OFDMA no es un sistema multi-portadora corriente, sino que, como su nombre indica, utiliza canales de frecuencias ortogonales, los cuales se solapan. Para resumir, esta ortogonalidad se consigue utilizando subportadoras con forma de función “Sinc”, de forma que las frecuencias centrales de cada subportadora, coincidan con los nulos de la Sinc del resto de subportadoras.

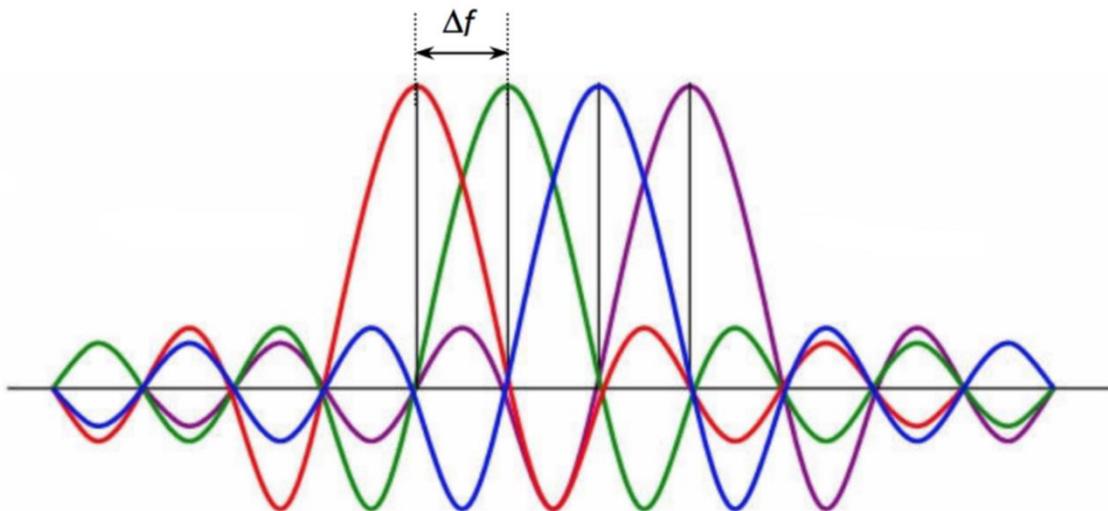


Figura 10 - Ejemplo de canales Sinc con nulos y F_c coincidentes [11]

Otra técnica que se utiliza para reducir la ISI es la del prefijo cíclico. Una opción para reducir la ISI sería la de establecer un “intervalo de guarda”, de forma que se dejara de transmitir entre símbolos, pero esto supondría desfasar una subportadora y por tanto comprometer la ortogonalidad entre estas.

Así pues, una alternativa sería la de utilizar un prefijo cíclico. Esto consiste en añadir, antes de iniciar la transmisión del símbolo, una copia de la parte final de este, de forma que se tendría algo así como “FINAL – INICIO – FINAL”, utilizando este pseudo-intervalo de guarda como redundancia, y además manteniendo ortogonales las subportadoras. En la Figura 11 se puede observar las 3 alternativas (sin intervalo, con intervalo, y con prefijo cíclico).

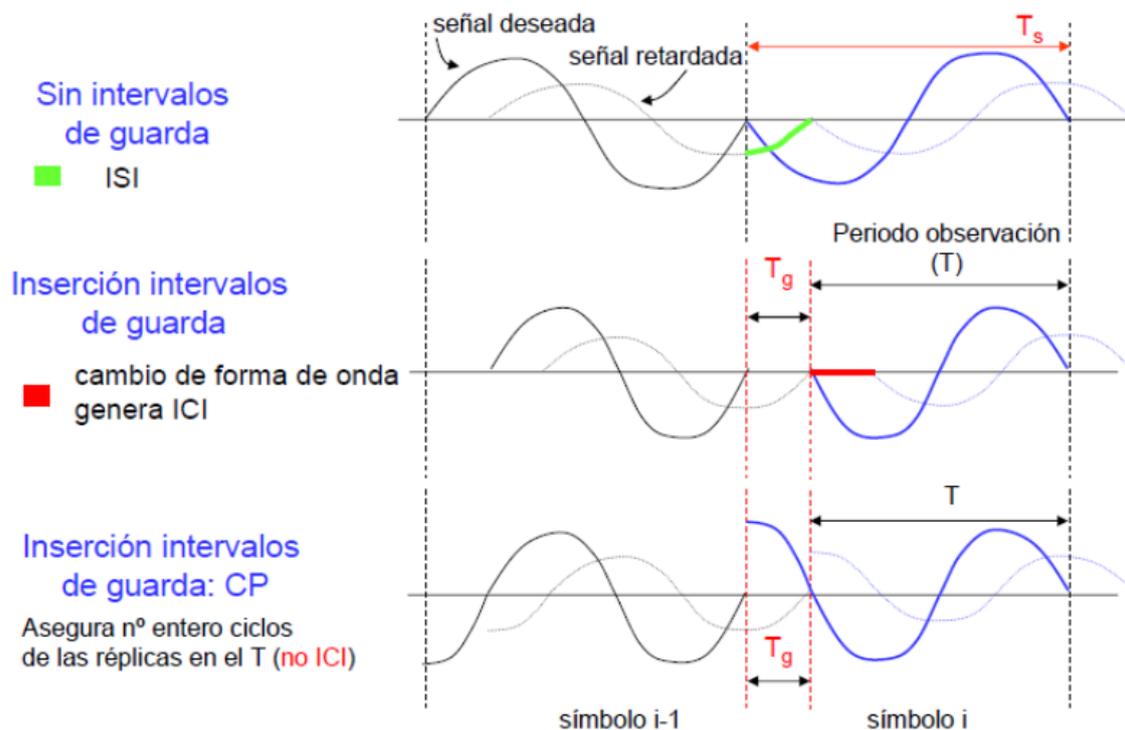


Figura 11 - Intervalos de guarda y prefijo cíclico [11]

Se debe alcanzar un compromiso entre distintos parámetros:

- BW de subportadoras: Un valor demasiado grande aumentaría las cabeceras del prefijo cíclico, y uno demasiado pequeño agravaría los efectos del ensanchado por Doppler.
- Subportadoras: Cuantas más se utilicen mejor, pero siempre dependiendo del espectro disponible.
- Prefijo cíclico: Un prefijo demasiado largo supone una pérdida de potencia, y demasiado corto interferencia entre símbolos.

Cabe destacar que OFDMA es el sistema de acceso múltiple en Downlink. En Uplink se utiliza Single Carrier TDMA (SC-TDMA).

2.4.2 MIMO

Multiple Input Multiple Output, o MIMO, es una técnica multi-antena. Este tipo de técnicas consiste en utilizar varias antenas para transmitir y recibir. Gracias a ello, se consigue aumentar la capacidad, área de cobertura, y/o tasa binaria (QoS).

Al tener diversas antenas, podemos hablar de tener diversos canales. Un aspecto importante de las técnicas multi-antena es la correlación entre estos canales. Esto dependerá de los tipos de antena, de cómo estén diseñadas y dimensionadas, de la separación que tengan (lo cual también depende de la frecuencia), del entorno, etc.

Existen tres enfoques en cuanto a las técnicas multi-antena:

- Diversidad: Información en distintas antenas/caminos, con lo que se consigue redundancia, y por tanto protección frente a errores de uno de los caminos.
- *Beamforming*: Apuntar a una dirección o utilizar técnicas de conformación del haz con array de antenas, con el propósito de maximizar la SNR en esa dirección.

- Multiplexación espacial: Transmitir múltiples flujos en paralelo de forma que en recepción se puedan separar.

2.4.3 Arquitectura

La arquitectura de LTE, al igual que sus predecesoras, se puede dividir en 2 planos diferenciados:

- Evolved Packet core: Entidades del núcleo de la red 4G. Junto con el resto de protocolos, estratos, capas, etc. Forma el llamado *Evolved Packet System* (EPS).
- E-UTRAN: Red de acceso de LTE evolucionada a partir de la de 3G, UTRAN, por lo que se denomina *Evolved-UTRAN*.

2.4.3.1 Evolved Packet Core

Esta red troncal evolucionada está formada, a alto nivel, por las siguientes entidades:

- Mobility Management Entity (MME): Se encarga del contexto del usuario, es decir, el “estado” en el que se encuentra (idle, conectado con el sub-estado que sea, etc.), parámetros y procedimientos de seguridad, como son la autenticación del usuario, la iniciación y negociación del cifrado, protección de datos etc. También el estado de la sesión su estado de movilidad para HO, etc. Asigna identidades temporales a los UE. Comprueba la autenticación, y se encarga de decidir si el usuario acampa en la *Tracking Area* o en la PLMN.
- Home Subscriber (HSS): Base de datos que contiene información del usuario como autenticación, suscripción, autorización, localización, etc. De forma eficiente en cuanto a costes.
- Serving Gateway (S-GW): Enruta y reenvía los paquetes del usuario. También sirve de referencia de movilidad para el usuario durante los HO entre nodos *intraRAT* (LTE-LTE), o entre tecnologías *interRAT* (LTE-legacy) del 3GPP.
- Packet Data Network Gateway (PDN GW): Es el Gateway (entrada y salida) a otras redes PS. También, de forma similar al S-GW, sirve de referencia de movilidad para el usuario durante los HO entre nodos *interRAT* no 3GPP.

Las distintas entidades y nodos importantes con sus respectivas interfaces de conexión se muestran en la Figura 12.

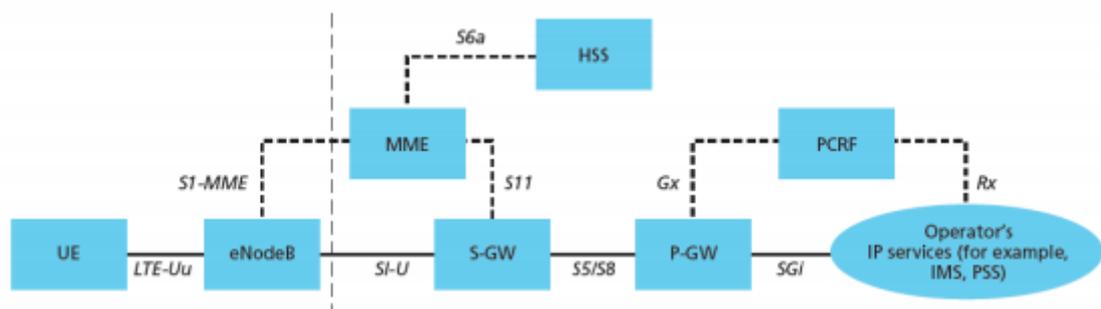


Figura 12 - Resumen arquitectura 4G a alto nivel [13]

En resumen, la principal novedad de la arquitectura *core* de LTE es que está totalmente basada en IP, desprendiéndose del servicio CS, aunque siendo compatible con estos, y teniendo acceso a

las redes Legacy en caso de necesitarlo (como en el caso de un CSFB si no se dispone de VoLTE o SRVCC al degradarse el servicio LTE y tener alternativa 3G).

2.4.3.2 E-UTRAN

La principal novedad en la red de acceso es el nuevo (evolucionado) nodo B, o eNodeB.

- Evolved Node B (eNB): Es el interfaz entre la red y el UE. A diferencia de los nodos de las tecnologías anteriores (BTS en 2G y NodeB en 3G), realiza multitud de funciones (anteriormente manejadas por los BSC y RNC), tales como la asignación de recursos radio, control de admisión, *scheduling*, se asegura de cumplir requisitos “negociados” de QoS UL, difusión de información de acceso e ID de la celda, cifrado de información de usuario, y compresión de cabeceras.

Así pues, la principal novedad de la arquitectura radio de LTE es la adición de “inteligencia y funciones” a los eNodeB.

2.4.4 Flexibilidad

Esta no es una característica en sí, sino más bien un adjetivo que se le puede otorgar a LTE como una consecuencia de otras características:

- Su ancho de banda es escalable. Puede utilizar distintos rangos de anchos de banda: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.
- Se puede operar en distintas bandas, FDD o TDD.
- Tiene fácil interconexión con las tecnologías *Legacy* (2G 3G).
- Comparte infraestructura en la red troncal con estas.

2.4.5 Canalización

En 2G y 3G, un canal se componía de un canal RF y un slot TDMA/FDMA. En el caso de LTE, la información viaja a través de distintas capas de protocolos, que serían las que se llaman canales. Se utiliza este modelo de forma que puedan discriminarse distintos flujos de datos dependiendo del tipo que sean, transportándolos a través de las distintas capas. De la misma forma, estos canales actúan de interfaz entre cada una de estas capas, de forma que la separación de datos se realiza ordenadamente. Estos canales se pueden clasificar en canales lógicos, de transporte y físicos.

2.4.5.1 Canales lógicos

Definen el tipo de información que se transporta, es decir, los servicios de datos que se ofrecen en la capa MAC. Tanto los mensajes de señalización y control, como los de datos, se transportan en los canales lógicos entre las capas RLC y MAC. Por tanto, los canales lógicos se pueden subdividir en canales de control (señalización en plano control) y de tráfico (datos en plano usuario). De la misma forma, los canales de control pueden ser comunes, es decir, utilizados por todos los usuarios de una celda, o dedicados, es decir, únicos para cada usuario.

Los canales lógicos en LTE son los siguientes:

De control:

- BCCH: Broadcast Control Channel. Difusión de System Information Blocks.
- PCCH: Paging Control Channel. Tareas de paging al UE. Canal únicamente DL.
- CCCH: Common Control Channel. Canal de información de control común para los usuarios de la celda.
- DCCH: Dedicated Control Channel. Canal de información de control privado para cada UE.

- MCCH: Multicast Control Channel. Difusión de información de control a multipunto.

De tráfico:

- DTCH: Dedicated Traffic Channel. Canal de datos privado para cada usuario.
- MTCH: Multicast Traffic Channel. Transmisión de datos *multicast*.

A continuación, se describirán de forma más detallada, aunque escueta, los canales y la información que transportan, así como el tipo de canales.

2.4.5.2 Canales de transporte

Definen la manera en la que se transmiten los datos y con qué características se hace a la capa física. Los mensajes de señalización y de datos se transportan en canales de transporte entre las capas MAC y física.

Los canales de transporte en LTE son los siguientes:

- BCH: Broadcast Channel. Mapeado en BCCH, transporta información como la utilizada en los SIB, y envía información al PBCH.
- DL-SCH: Downlink Shared Channel. Canal principal de transporte de datos en *downlink*. Los canales lógicos lo utilizan para enviar su información al PDSCH. Transporta información SIB y datos.
- PCH: Paging channel. Información de PCCH y mapeado en PDSCH. Transporta información de paging.
- MCH: Multicast Channel. Transmite la información de MCCH para transmisiones *multicast*. Mapeado en PMCH. Transporta información de servicio Multimedia Broadcast Multicast Service.
- UL-SCH: Uplink Shared Channel: Canal principal de transporte de datos en uplink. Los canales lógicos lo utilizan para enviar su información.
- RACH: Random Access Channel. Utilizado para el procedimiento de acceso aleatorio.

2.4.5.3 Canales físicos

Definen donde se transmite la información a través del medio aéreo. La información de señalización y de datos se transmite entre los distintos niveles de la capa física. Se clasifican en canales UL y DL, y canales de datos y control.

Canales físicos *downlink*:

- Control:
 - o PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel. Informa al usuario del formato de señal recibida mediante el *Control Format Indicator* (CFI). Indica el número de símbolos utilizados en OFDM para el canal PDCCH
 - o PHICH: Physical Hybrid ARQ Indicator Channel. Indica el estado ARQ. Contiene la señal que indica si el *transport block* se ha recibido correctamente o no.
 - o PDCCH: Physical Downlink Control Channel. Contiene la DCI (Downlink Control Information), con información de control de un usuario o grupo de usuarios.
- Datos:
 - o PBCH: Physical Broadcast Channel. Contiene información para el usuario que quiere acceder a la red.
 - o PDSCH: Physical Downlink Shared Channel. Mapea DL-SCH o PCH, es decir, contiene información de paging, SIB, y datos de usuario.
 - o PMCH: Physical Multicast Channel. Mapea el MCH y se utiliza para servicios MBMS.

Canales físicos uplink:

- Control:
 - o PUCCH: Physical Uplink Control Channel. Contiene señalización de control.
- Datos:
 - o PUSCH: Physical Uplink Shared Channel. Utilizado para transmisión de datos de UE en el UL. También puede contener información de control.
 - o PRACH: Physical Random-Access Channel. Utilizado para el proceso de acceso aleatorio para sincronizarse con la red en Uplink.

Para no extenderse de forma innecesaria, en la Figura 13 se puede observar un resumen de los canales y su mapeo en las distintas capas.

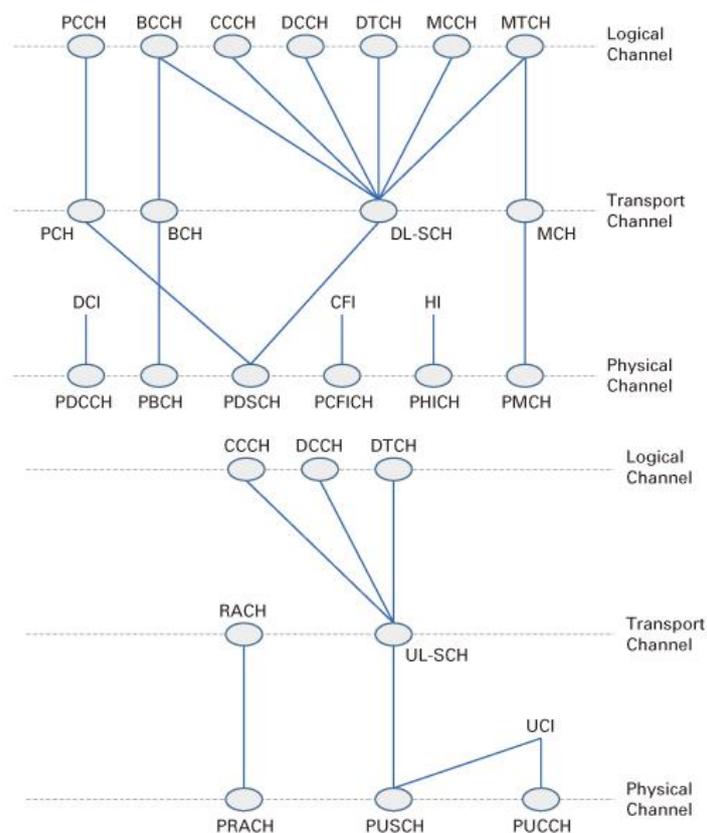


Figura 13 - Canalización y mapeo de canales LTE [14]

Como con 2G y 3G, se podría extender tanto como se quisiera la explicación del funcionamiento y características de 4G, pero se evitará al no tratarse de una revisión bibliográfica.

2.5 Otros conceptos relevantes

Una vez mencionados algunos de los aspectos y características más interesantes o relevantes del funcionamiento de las tres generaciones de estándares de comunicaciones móviles, cabe desarrollar algunos conceptos necesarios para la correcta lectura e interpretación de este trabajo.

2.5.1 Nomenclatura

Nodo, sector, celda y portadora

Para comprender el desarrollo del trabajo, hay que empezar diferenciando estos 4 conceptos relacionados con el día a día de las tareas de un Ingeniero de RF.

2.5.1.1 Nodo

Se denomina Nodo al elemento al que conectan las antenas de telefonía móvil, y todo el hardware necesario para el funcionamiento de estas (BBUs, RRUs, LBBPs, etc.). En el caso de 2G el Nodo sería la BTS (Base Transceiver Station), en 3G sería el NodeB, y en LTE sería el eNodeB.

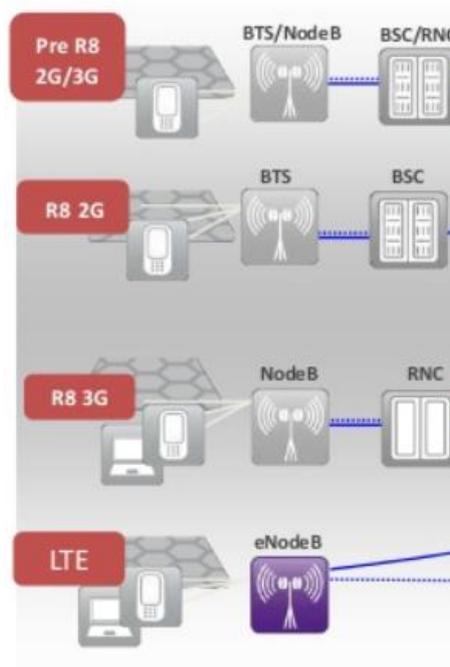


Figura 14 - Nodos según tecnología [15]

2.5.1.2 Sector

En el Nodo se encuentran las antenas sectoriales, o sectores, que apuntan hacia distintas direcciones y constan de distintos elementos y tecnologías. En las ciudades normalmente los nodos constan de 3 sectores orientados para dar cobertura en 360°, distribuyendo la orientación de cada sector según las zonas de interés a cubrir, mientras que, en zonas rurales, carreteras y vías de tren es común el uso de nodos de 2 o incluso 1 sector, dando cobertura solamente a las zonas de interés (vías del tren, poblaciones pequeñas y aisladas, etc.).

Hay que aclarar que un sector suele constar de más de una antena, ya que no se puede utilizar la misma para todas las tecnologías y frecuencias, pero se suelen agrupar las distintas antenas para estas tecnologías en un solo sector según orientación.



Figura 15 - Nodo con 3 sectores. [16]

2.5.1.3 Celda

Se denomina celda al área de cobertura que cubre un sector en cierta tecnología y frecuencia. Por ejemplo, el sector 2 de U900 de un nodeB, cubriría una cierta área en la dirección hacia la que está orientado con cobertura 3G en la banda 900, y esta área sería la celda U900 del S2. Cada sector puede (y suele) llevar varias tecnologías y frecuencias. Es decir, que, en el ejemplo anterior, el sector 2 podría tener una celda de U900, otra de U2100 (con varias portadoras), otra de GSM900, otra de DCS1800, otra de LTE800, otra de LTE1800, etc.

2.5.1.4 Portadora

Se trata de la frecuencia dentro de la banda de la tecnología en cuestión que se utilice. En la mayoría de casos, solo se utiliza una frecuencia en la tecnología, aunque en el caso de 3G, la banda de U2100 (la más utilizada) consta de 3 frecuencias (ARCFN 10688, 10663 y 10638), utilizándose casi siempre la primera, aunque pudiendo utilizar también la segunda y la tercera en caso de necesitarlo por congestión de tráfico (común en zonas urbanas y muy pobladas).

Por tanto, al tener esta particularidad en esta tecnología, es necesario indicar la portadora utilizada, siendo esta la primera y única portadora en el resto de tecnologías, y pudiendo ser la portadora 1, 2 o 3 en U2100.

2.5.1.5 Nomenclatura de celdas

Una vez diferenciados estos 4 conceptos, se puede empezar con la diferenciación de nomenclatura de estos, la cual es distinta según el vendor, tecnología, localización, etc. Para ilustrarlo de forma más fácil, se utilizará la nomenclatura completa de una portadora de un hipotético nodo localizado en Andalucía: ANDY1234M3A

[AND]	[Y]	[1234]	[M]	[3]	[A]
Localización	Bastidor	ID de nodo	Tecnología	Sector	Portadora

Localización: Este prefijo indica la localización del nodo. En este caso indica que se encuentra en la comunidad autónoma de Andalucía.

Bastidor: Este indicador puede ser X o Y. Normalmente es X, aunque en caso de que se indique una Y, como en el ejemplo, significa que esta tecnología se ha instalado en un bastidor distinto al de las tecnologías que se indican con una X en este apartado (es decir, 2G y 3G estarían en un bastidor, y LTE estaría en un segundo bastidor).

ID de nodo: Este número indica el identificador del nodo, único para cada comunidad autónoma, en este caso 1234.

Tecnología: Indica la tecnología y frecuencia utilizada. En este caso M significaría LTE800. En la tabla XX se indica la nomenclatura de las distintas tecnologías.

Sector: Indica el sector, numerados en orden de orientación, empezando por el norte y en sentido horario. En el ejemplo, se trata del sector 3.

Portadora: Indica el número de portadora, en este caso, la primera y única, ya que LTE800 solo consta de una frecuencia en la banda de operación. En caso de tener más de una portadora en U2100, se indica la primera portadora con una A, la segunda con una B, y sucesivamente, aunque en nodos Huawei o con herramientas que utilicen su nomenclatura (como sería el caso de U2000 o MAQA, aunque no de BBOO), esta cambia. En la tabla XX se especifica la nomenclatura de portadoras según tecnología y vendors.

Ericsson/BBOO	Huawei/U2000/MAQA	Significado
E1A	E1A	1ª y única PO de S1 de GSM900
R1A	R1A	1ª y única PO de S1 de DCS1800
B1A	B1	1ª PO de S1 de U2100
B1B	C1	2ª PO de S1 de U2100
B1C	D1	3ª PO de S1 de U2100
F1A	F1	1ª y única PO de S1 de U900
M1A	M1A	1ª y única PO de S1 de LTE800
N1A	N1A	1ª y única PO de S1 de LTE1800
L1A	L1A	1ª y única PO de S1 de LTE2600

Tabla 1 - Nomenclatura de tecnologías y portadoras

2.5.1.5.1 Particularidades y excepciones: Nodos RAN Sharing

Un nodo RAN Sharing es básicamente un nodo compartido por varias operadoras. Una operadora puede desplegar nodos propios, o radiar a través del nodo que otra operadora ya ha desplegado en el mismo sitio. Esto es conveniente en caso de que el coste de despliegue supere al coste de “alquilar” este servicio a otra operadora.

En este caso, cada operadora tiene la nomenclatura para su nodo propio (en el caso de Orange, la anteriormente mencionada), y la nomenclatura para nodos RS, que dependen de tecnología, vendor, RNC, y por supuesto, localización. En estos casos, al tratarse de excepciones varias particulares para cada caso, lo mejor es buscar el nombre del nodo RS en un *export*.

2.5.2 KPIs

Los KPIs, como su nombre en inglés indica, Key Performance Indicators, son parámetros clave para medir el rendimiento. Aplicando este concepto a este trabajo, los KPI son parámetros de los nodos de telefonía móvil que permiten medir el rendimiento de la red, y, por tanto, permiten realizar el análisis, seguimiento y optimización de este. A continuación, se listarán y explicarán brevemente algunos de los más importantes para el análisis de degradaciones, debido a que explicar la totalidad de los KPIs haría demasiado extenso este trabajo.

2.5.2.1 Tráfico

Aunque parezca obvio, el tráfico es un KPI muy importante, dado que un aumento o disminución de tráfico puede indicar cambios en parametrizaciones, caídas de nodos vecinos, nuevas integraciones de otra tecnología, etc. Y un aumento de tráfico puede causar y/o explicar otras degradaciones, como aumento de caídas o bloqueos por estadística o por congestión.

2.5.2.2 Caídas

Se considera como caída a la pérdida de una conexión ya establecida. La caída puede ser de una llamada que ya se está establecido (caída TCH en 2G, caída CS en 3G, o VOLTE en 4G, ya que tiene VOLTE o CSFB), o de un paquete (GPRS en 2G, PS en 3G e indistinto PS en 4G, ya que tiene VOLTE o CSFB). También se puede considerar caídas de paquetes de señalización (caídas SD).

2.5.2.3 DCR

Son las siglas de “Drop Call Rate”, y es el porcentaje de caídas de llamadas, obviamente relacionado con el tráfico y el número de caídas. Es útil tener en cuenta este valor junto con el número total de caídas para detectar tanto aumentos de caídas, como aumentos de porcentaje de caídas, en caso de que haya celdas con poco tráfico en las que existan degradaciones, pero cuyo valor neto de caídas no llegue al umbral establecido para su análisis.

2.5.2.4 Bloqueos

Un bloqueo o fallo es una denegación de servicio por parte de la red, es decir, un intento fallido de establecimiento de conexión. El bloqueo puede ser de una llamada que se intenta establecer fallidamente (bloqueos TCH en 2G, CS en 3G, e indistinto en 4G, ya que tiene VOLTE o CSFB), o paquetes que se intentan entregar fallidamente a la red (bloqueos GPRS en 2G, PS en 3G, e

indistinto en 4G, ya que tiene VOLTE o CSFB). Otro tipo de clasificación para los bloqueos es de RRC o RAB (fallo de establecimiento de conexión de control o de datos), y en caso de tener contadores para ello, se puede discernir de forma más concreta el origen de estos (por potencia, por CE, por códigos, etc.).

2.5.2.5 CSSR

Son las siglas de “Call Setup Success Rate”, es decir, el porcentaje de éxito en establecimiento de llamadas, y por motivos obvios está estrechamente relacionado con el número de bloqueos y el tráfico, aunque hay otros factores que pueden afectarla. De la misma forma que el DCR, es importante tenerlo en cuenta junto con el valor neto de bloqueos por si este no llegara al umbral para su análisis, pero existiera una degradación que aumentara el porcentaje de bloqueos de la celda.

2.5.2.6 % tiempo Down

Que una celda esté caída significa que está apagada o fuera de servicio. Puede que haya sido bloqueada de forma manual o automatizada para realizar cambios, trabajos en local, etc. O que haya caído sin gestión, debido a problemas de suministro, daños o defectos en el equipamiento, sabotaje, etc. En cualquier caso, que una celda esté caída tiene que tratarse con prioridad, dado que ha dejado de dar servicio, y en caso de que no sea un paro controlado (como se ha dicho, para realizar cambios, o se apague de forma periódica en cierto horario para ahorro de energía), reportarlo al grupo correspondiente para que se actúe cuanto antes.

Normalmente una caída de un nodo suele venir con una INI asociada que explica el trabajo o la incidencia sucedida, se haya solucionado o no, y en caso de que no la haya, se debe abrir en cuanto se detecte la caída.

2.5.2.7 RSSI/RTWP

Se trata de dos parámetros para medir interferencia en 3G y 4G. RTWP es el parámetro utilizado para medir interferencia principalmente en 3G. Sus siglas significan Received Total Wideband Power. Está ligado a la interferencia en uplink y las caídas, especialmente CS. RTWP también proporciona información sobre el control de congestión y la capacidad. El nivel de RTWP puede estar afectado por distintos factores, como el número de usuarios conectados, las condiciones radio, tipo de conexión, etc. El umbral de RTWP para considerar que se está teniendo interferencia es de -95dB.

RSSI es el parámetro utilizado para medir interferencia principalmente en 3G y 4G. Sus siglas significan *Received Signal Strength Indicator*. Para definir RSSI primero se debería definir RSCP. Estas siglas significan *Received Signal Code Power*. Este parámetro indica la potencia medida en receptor al sintonizar un canal físico. Al tratarse de sistemas CDMA, este canal físico es un *spreading code*, por lo cual se denomina de esta manera. RSSI es otro parámetro de interferencia que tiene en cuenta tanto RSCP como E_c/I_0 . La fórmula para calcularlo sería la siguiente:

$$RSSI (dBm) = RSCP (dBm) - \frac{E_c}{I_0} (dB)$$

Siendo E_c/I_0 la relación de energía por chip respecto al nivel de interferencia.

2.5.2.8 Alcances

Se trata del contador del *timing advance*. Esto es, en pocas palabras, un contador que se incluye en las tramas que cuenta el tiempo de retorno de los paquetes para estimar la distancia a la que se encuentran los usuarios. Gracias a este contador, se puede obtener una distribución de muestras de conexiones de usuarios a la celda, clasificadas según la distancia a la que se encuentra el UE en el momento de la conexión. Esta distribución es útil, por ejemplo, cuando se presenta una degradación con aumento de tráfico asociado, y se puede determinar la distancia de la que proviene este tráfico, o si la celda está cursando tráfico de usuarios que se encuentran a una distancia a la que no deberían estar conectados a la celda. Esto último se conoce como sobre-alcance, y puede estar causado por parametrizaciones o caídas de otros nodos.

2.5.2.9 Handovers

El estudio de la distribución de Handovers, y el porcentaje de éxito de estos, o el cese a ciertas celdas, etc. Es muy útil a la hora de correlacionar degradaciones con eventos o incidencias sucedidas en los nodos de la zona.

Existen muchos más KPIs, algunos típicos, otros más rebuscados, pero a priori, para comprender el trabajo, con describir estos sería suficiente.

2.5.3 Programas y herramientas

Para finalizar este apartado de introducción conceptual y teórica, se explicará brevemente el software utilizado para el análisis de degradaciones, así como una breve introducción a su manejo.

2.5.3.1 Business Objects

Business Objects (en adelante, “BBOO”, nomenclatura utilizada en la empresa) es una herramienta software propiedad de SAP SE. Se trata de una plataforma *Business Intelligence* de análisis y consultas para empresas. Consta de una serie de aplicaciones de adquisición de datos que permiten al usuario visualizar datos, realizar análisis para sacar conclusiones, y crear informes para visualizar estas conclusiones.

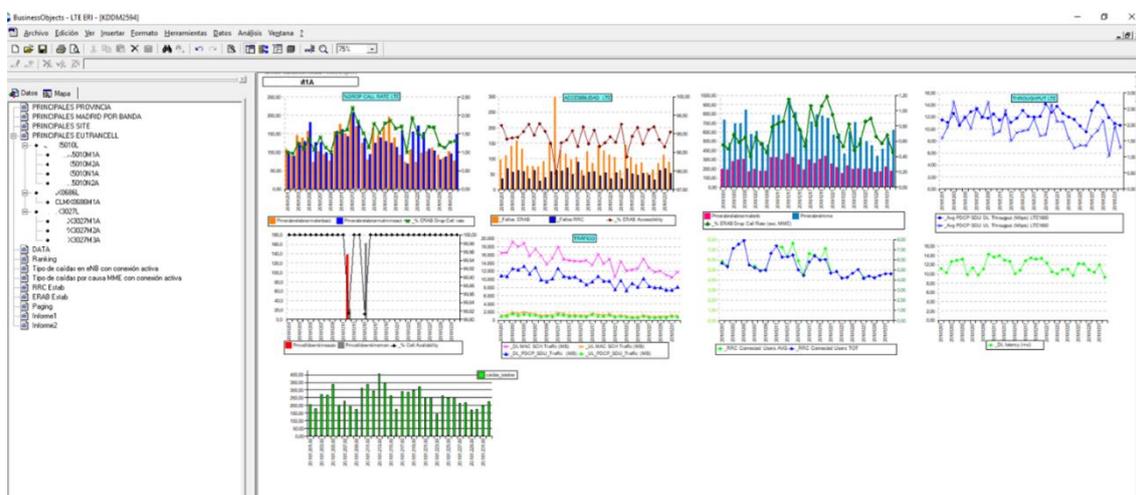


Figura 16 - Ejemplo de consulta de KPIs diarios de varios nodos LTE Ericsson en BBOO

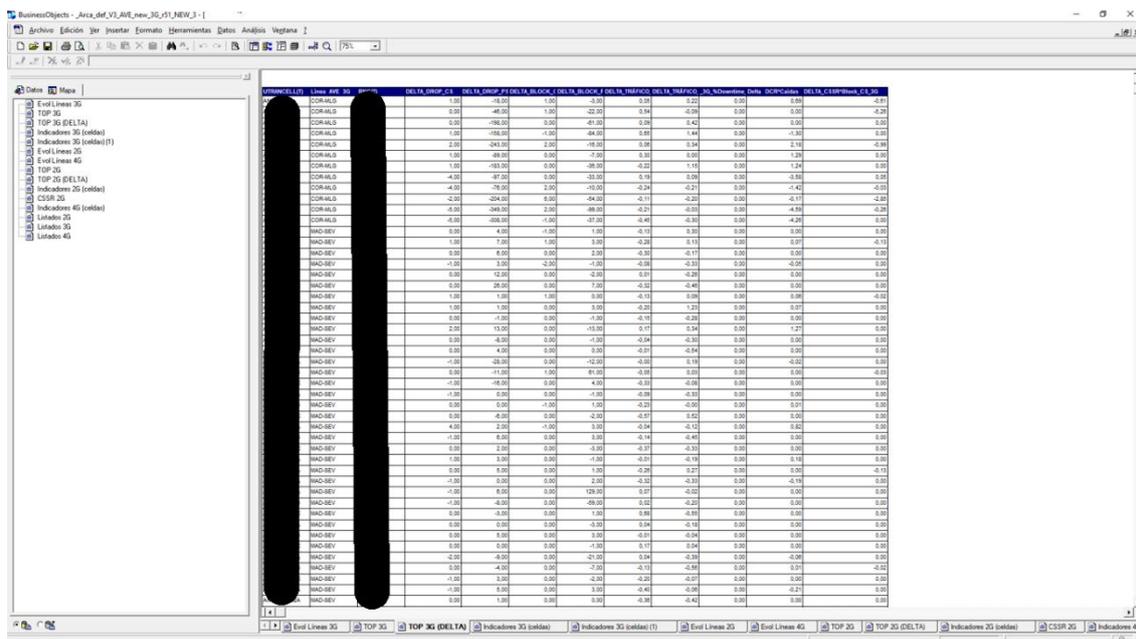


Figura 17 - Ejemplo de consulta de Δ KPIs diarios de todos los nodos 3G de líneas AVE

Este software obtiene datos de una base de datos, en el caso del proyecto en cuestión, de la base de datos donde se almacenan los contadores de los datos estadísticos (caídas, bloqueos, HO, tráfico, etc.) de la red de los nodos de OSP. Estos datos se pueden obtener de distintas formas, entre ellas, en forma de tabla u hoja de cálculo, donde simplemente se obtiene una serie de datos de cada nodo (Figura 17), o en forma de gráfico, donde se pueden representar gráficamente distintos datos de distintos nodos y días u horas (Figura 16).

Esto dependerá del informe o “consulta” utilizada. Una consulta es una representación de los datos obtenidos del “universo” seleccionado. Un universo es una serie de capas de metadatos que permite al usuario interactuar con los datos sin tener que definir de dónde vienen estos datos (de qué parte/ruta/servidor de la base de datos de OSP se obtienen). Dicho de otra forma, para no complicar en exceso esta explicación, los universos son las pseudo-bases de datos de donde se obtienen los contadores y KPIs para analizar. En el caso de las consultas utilizadas para la tarea de este trabajo, los universos a utilizar se clasifican:

- Por tecnología: GSM, UMTS o LTE.
- Por desglose de datos: Acceso Agregado (datos de RAN agregados por día), o Acceso Crudo (datos de RAN desglosados por horas).

Una vez seleccionado el/los universo/s del/os que se obtendrán los datos, se pasa a configurar la consulta. En primer lugar, se selecciona como se organizarán los datos. Es decir, por días, por horas, por topología, por vendor, etc. O, lo más común, una combinación de las anteriores.

En caso de querer que la consulta se pueda utilizar para distintos datos iniciales (distintos días, distintos nodos, etc.), se puede configurar para que obtenga estos de un archivo que contenga la lista de nodos o celdas, o directamente configurando una petición de orden (por ejemplo, cada vez que se ejecute la consulta, se pedirá introducir los nodos de los que se quiere obtener datos).

Esto se realiza en el apartado “Condiciones”, como se puede observar en la Figura 18. En esta Figura también se observa el apartado “Objetos del resultado”, donde se introducirán los datos que se obtendrán en la consulta, entre los que habrá que incluir los necesarios para organizar los especificados en el apartado condiciones, además de los datos que querremos visualizar posteriormente.

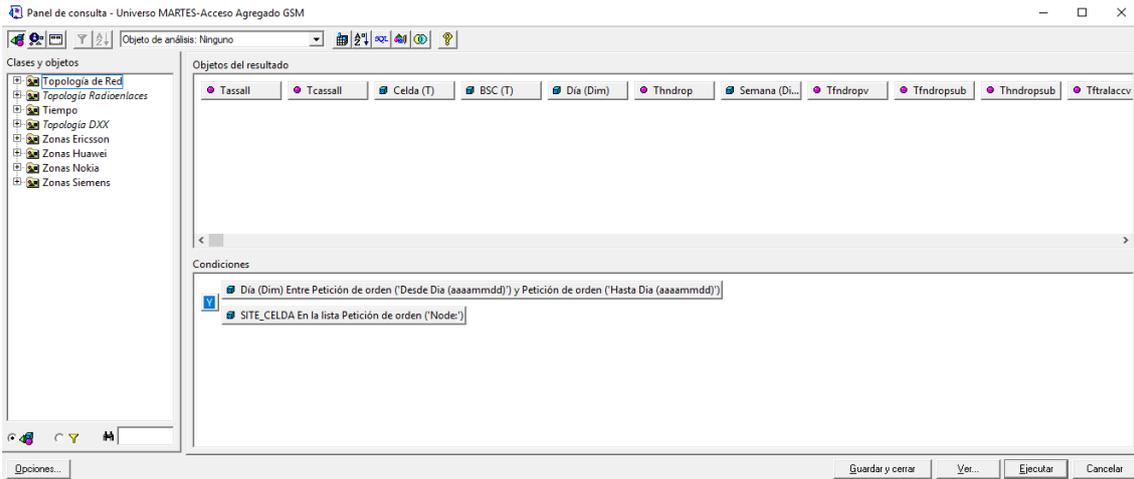


Figura 18 - Configuración de consulta en BBOO

Una vez creada la consulta con la obtención y organización de datos deseada, se pasa a crear los informes. Estos informes son la representación de los datos especificados en la configuración de la consulta. Estos datos se pueden representar, como ya se ha comentado anteriormente, de forma gráfica, o en forma de tabla, pudiendo exportarla en formato de hoja de cálculo, entre otras posibilidades. Cada consulta puede tener distintos informes.

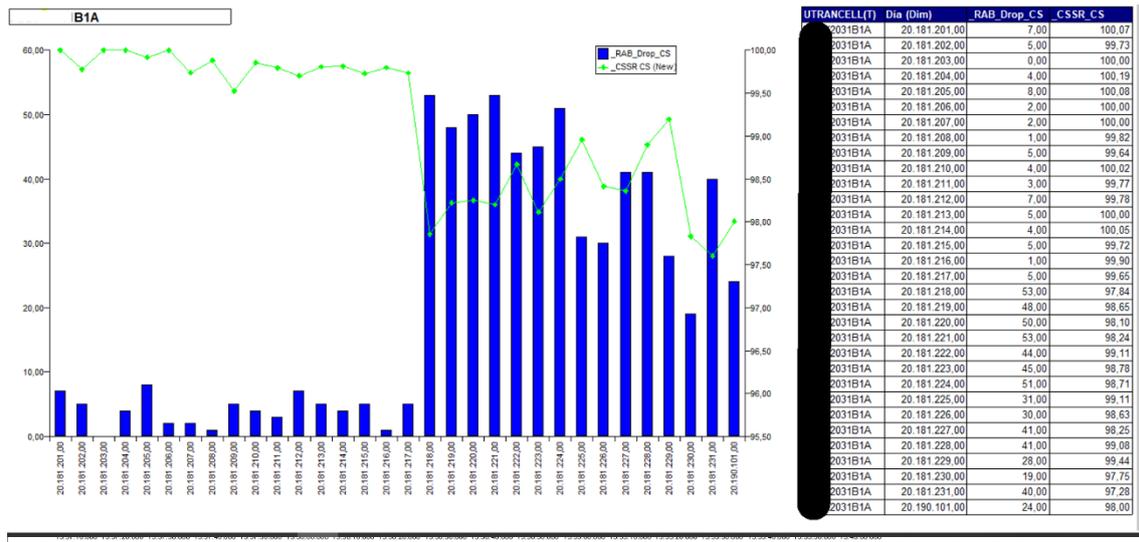


Figura 19 - Ejemplo de informe con gráfico y tabla de caídas CS y CSSR CS diario por nodo

Existen muchos más detalles en cuanto a la configuración de los universos, consultas, informes, tablas y gráficos, tanto para la obtención de datos, como para la representación y exportación de estos, incluso se podrían exponer funcionalidades como los filtros, el corte y rotación de datos, etc. pero con la información ya expuesta es más que suficiente para entender de donde se obtienen los datos y cómo se sacan las conclusiones que se especifican en el trabajo.

2.5.3.2 MAQA

MAQA es una aplicación web de OSP que permite la visualización de distintos parámetros o conjunto de parámetros de la red, aunque en cuanto a lo que atañe a este trabajo, los más importantes son 2 tipos de estos. Los KPIs de los nodos Orange o de otros operadores, en caso que tengan Radio Access Network Sharing (en adelante, RAN Sharing) con posibilidad de visualización por parte de operadoras no propietarias de los equipos, y las incidencias (en



orange

Buscar nodo

OSP MAQA :: 0.0688 ZC Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 02/01/2019 : Semana 01 Log In

Inicio Alarmas Estadísticas Configuraciones

On Line 2G 3G 4G PTN Ingenia RTM TOOL

On Line 5. Agregar Nodos y Hora

Alarm	Fecha	Nodo	Actualizar	RAB_CS	RRC_DRB0P	TA11_P	CSRS	New_CSSR	RRC_CS	RRC_PS	RAB_VOY	RAB_IPS	Dispo	HS												
TOP	1225 0000	LORO2	2031B1	3	10.00	0	0	607	11.35	100	95.19	100	98.67	14	0	100	1154	12	98.96	30	0	100	1128	43	96.19	
2G	1225 0000	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	40	6.21	100	97.26	100	99.07	1	0	100	74	0	100	1	0	100	73	2	97.26	
KPI EGV	1225 0100	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	1	448	10.82	100	96.59	100	98.98	13	0	100	928	11	98.81	23	0	100	887	20	97.75
KPI EGV VDF	1225 0100	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	49	7.63	100	98.62	0	0	0	0	100	111	0	100	1	0	100	96	8	91.67	
KPI H2G VDF	1225 0400	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	261	8.43	100	97.77	100	99.44	6	0	100	576	5	99.13	13	0	100	583	8	98.62	
3G	1225 0100	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	46	7.76	100	100	100	100	1	0	100	64	0	100	1	0	100	64	0	100	
kpi (OL)	1225 0300	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	212	9.03	100	99.47	100	99.78	5	0	100	367	0	100	5	0	100	379	2	99.47	
Adm (OL)	1225 0300	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	20	4.65	100	99.76	0	0	0	0	100	33	0	100	0	0	100	34	0	100	
KPI EGV	1225 0400	LORO2	2031B1	1	14.29	1	0	177	11.49	100	99.10	100	99.80	4	0	100	217	1	99.54	7	0	100	227	1	99.56	
KPI EGV VDF	1225 0400	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	18	4.90	100	100	0	0	0	0	100	27	0	100	0	0	100	31	0	100	
KPI H2G VDF	1225 0500	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	183	11.98	100	99.11	0.00	99.87	1	0	100	225	1	99.56	0	0	100	223	1	99.55	
KPI EGV TME	1225 0500	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	30	6.51	100	100	0	0	0	0	100	39	0	100	0	0	100	40	0	100	
AD E3G	1225 0600	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	180	10.87	100	99.15	100	99.81	1	0	100	238	0	100	7	0	100	235	2	99.15	
AD E3G VDF	1225 0600	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	28	6.38	100	100	100	100	1	0	100	32	0	100	1	0	100	34	0	100	
AD H3G VDF	1225 0700	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	226	12.31	100	99.64	100	99.83	1	0	100	275	0	100	10	0	100	278	1	99.64	
AD H3G TME	1225 0700	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	28	5.97	100	100	0	0	0	0	100	36	0	100	0	0	100	36	0	100	
AD E3G TME	1225 0800	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	223	12.05	100	98.33	100	99.72	2	0	100	306	1	99.67	15	0	100	299	4	98.66	
ETR E3G	1225 0800	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	30	6.71	100	100	100	0	0	0	100	48	0	100	2	0	100	51	0	100	
Nodo Carrier	1225 0900	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	218	11.71	100	98.98	100	98.82	5	0	100	400	5	98.75	6	0	100	404	17	95.79	
4G New	1225 0900	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	67	10.70	100	97.95	100	99.67	3	0	100	96	1	98.86	2	0	100	98	1	98.98	
KPI E4G	1225 1000	LORO2	2031B1	0	0.00	0	0	246	12.28	100	96.48	100	98.97	16	0	100	509	2	99.61	15	0	100	541	17	96.86	
KPI E4G VDF	1225 1000	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	58	7.63	100	98.95	100	99.72	2	0	100	90	0	100	13	0	100	95	1	98.95	
KPI H4G VDF	1225 1100	LORO2	2031B1	2	3.51	0	0	248	10.24	100	95.92	100	98.59	40	0	100	596	11	98.15	57	0	100	616	14	97.73	
Areas	1225 1100	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	40	8.08	100	99.21	100	99.86	2	0	100	126	1	99.21	2	0	100	122	0	100	
KPI EGV	1225 1200	LORO2	2031B1	2	2.87	0	0	256	7.51	97.92	93.18	98.68	98.26	48	1	97.92	793	12	98.49	75	0	100	775	42	94.58	
KPI E3G	1225 1200	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	78	6.79	100	98.41	100	99.83	7	0	100	114	0	100	13	0	100	126	2	98.41	
KPI E4G	1225 1300	LORO2	2031B1	2	2.56	1	0	359	8.11	96.96	95.72	96.29	98.80	56	1	98.21	1042	10	99.04	79	1	98.73	1045	35	96.65	
Old KPI EGV	1225 1300	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	81	6.84	100	99.22	100	99.91	3	0	100	137	0	100	6	0	100	129	1	99.22	
4G Old	1225 1400	LORO2	2031B1	3	0.00	1	0	470	11.44	100	98.38	100	99.98	16	0	100	975	17	98.26	30	0	100	987	49	95.04	
KPI E4G	1225 1400	LORO2	2031B2	0	0.00	0	0	67	8.14	100	100	100	99.75	2	0	100	102	0	100	5	0	100	104	0	100	

Figura 21 - Ejemplo de consulta de KPIs en MAQA de nodo 3G Ericsson de zona 2 por horas

Además de los KPIs, como se ha dicho, MAQA es muy útil a la hora de obtener información de las WO o los TP que se realizan en el nodo, así como las INIs asociadas a este. Para no extenderse demasiado, las WO son trabajos realizados por operarios en el propio site, los TPs son configuraciones o parametrizaciones programadas para efectuarse en cierta franja horaria, o a partir de esta, y las INIs son reportes de incidencias que puedan ocurrir en el nodo, y el hilo de seguimiento de estas (caídas de nodos y sus motivos, degradaciones por parametrizaciones y sus respectivos “rollbacks”, solicitudes de reset, casos de interferencias, etc.).

Para obtener información acerca de WO, TP e INIs, se puede buscar el nodo en cuestión, y seleccionar en el apartado correspondiente la solicitud deseada, tal y como se puede ver en la Figura 22.

orange

2031 go

OSP MAQA :: 1.0073 ZC Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 02/01/2019 : Semana 01 Log In

Inicio Alarmas Estadísticas Configuraciones

SITE BSC SIU PMW BKP Giros Centrix Param Topo

Ir a página Oceane-Incidencias

Ticket	Type	Create Group	Create Date	Id1	Description	Action Start
0 registros						
1407357247	Failure	ERICSSON	OPT14-07-28 12:11	2031:UMTS 2100 OPT_RAN_3G_Z2_ENO	X2031 RESET	14-07-28 12:17
1412043614	Failure	ERICSSON	NOC14-12-10 06:48	2031:GSM 900	DT_RAN_2G+3G_Z2_OSP_AVE_CAIIDO_OML_FAULT	2014-12-10 06:52
1412107283	Failure	ERICSSON	NOC14-12-13 06:35	2031:GSM 900	DT_RAN_2G_3G_Z2_OSP_2031_estacion caida_ave	AL114-12-13 06:41
1502392381	Failure	ERICSSON	FLM15-02-19 14:08	2031:GSM 1800	NSAF_RAN_Z2_2G_SEGUIMIENTO AA	2031 15-02-19 14:11
1604174529	Failure	ERICSSON	NOC16-04-08 14:04	2031:GSM 900	PLAN LIMPIEZA_RAN_NSAF_Z2_ALARMA DE ANTENA	16-04-08 14:13
5 registros						

Figura 22 - Búsqueda de WO, INI o TP en MAQA

Otra opción es acceder al apartado “alarmas” y buscar directamente el identificador de la INI, WO o TP. Tanto en este caso, como en el de buscar por nodo, no es necesario especificar la zona a la que pertenece.

2.5.3.3 Google Earth

La empresa facilita capas de Google Earth con representaciones de todos los nodos existentes en España, para la fácil identificación de emplazamientos de nodos, orientación de sectores, zonas de cobertura, poblaciones, nodos vecinos, túneles, u otros elementos relevantes de cercanía a los nodos.

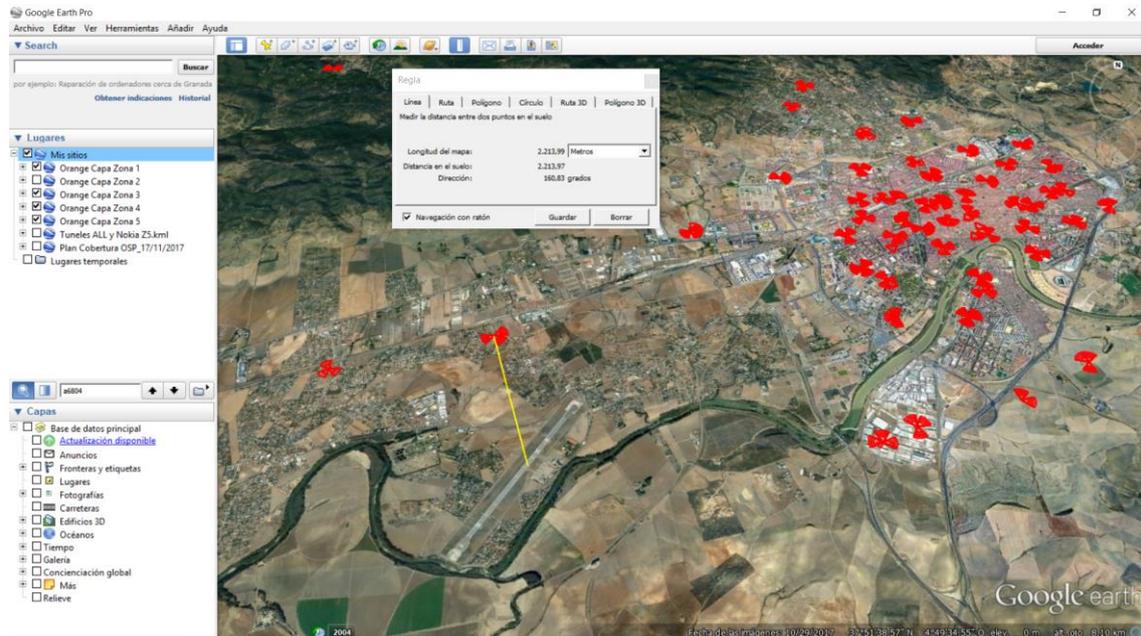


Figura 23 – Ejemplo de uso de Google Earth

También permite identificar los emplazamientos planificados para nuevos nodos, para así determinar la posibilidad de que la presunta degradación sea causada por estos nuevos encendidos, entre otros usos. Esto permite y facilita la investigación de degradaciones de rendimiento en los nodos y celdas, permitiendo identificar la fuente de la degradación que, de otro modo, no podría o sería extremadamente complicado obtener.

Oceane

Oceane es el gestor de incidencias propio de OSP. Mediante esta herramienta, se puede consultar si un nodo tiene incidencias pendientes, el historial de incidencias, el estado de una en concreto, etc. Además de abrir incidencias al detectar una eventualidad, o solicitar acciones sobre el nodo, ya sean remotas o *in-site*, requiriendo el desplazamiento del personal técnico al sitio.

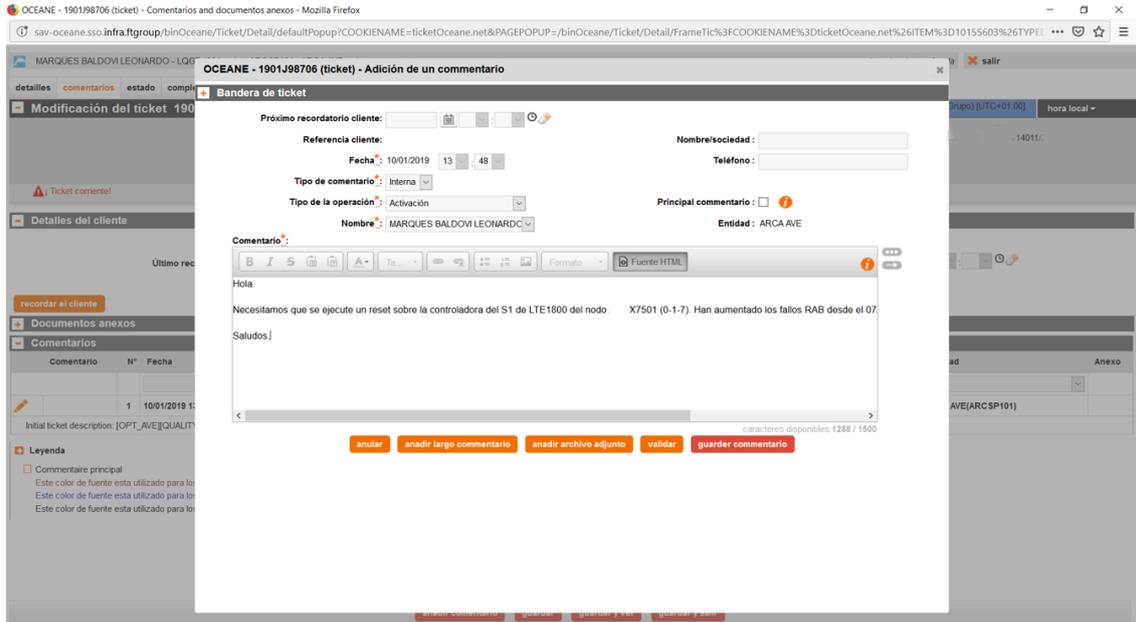


Figura 24 – Ejemplo de incidencia en Oceane

Igri

Igri es el gestor de incidencias propio de TME.

En caso de tener una incidencia o necesitar abrir una para un nodo RS propiedad de TME, habría que enlazar la INI de Oceane a una INC de Igri, ya que es el propietario el único responsable y habilitado para realizar acciones sobre el nodo. El procedimiento para abrir INIs es distinto, pero el concepto de la gestión de incidencias y asignación a distintos grupos es el mismo.

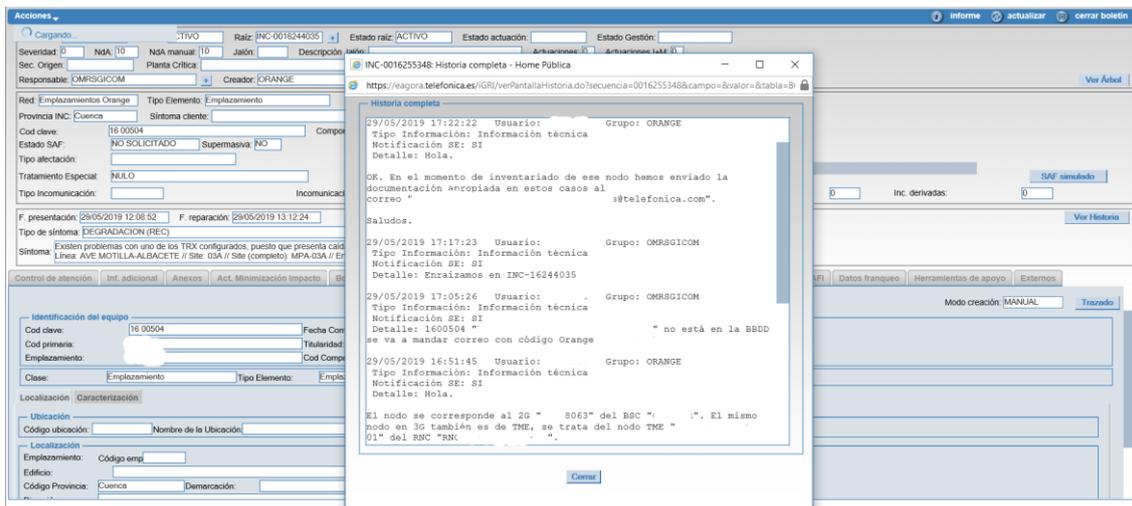


Figura 25 – Ejemplo de incidencia en Igri

Capítulo 3. Análisis y diagnóstico de la red de cobertura del tren de alta velocidad

3.1 Introducción

Una vez realizadas las introducciones teóricas y explicaciones de los fundamentos necesarios para entender el trabajo, se procede a la explicación del objeto de estudio de este trabajo, siendo este el que el título de éste indica. Primero se describirá el procedimiento utilizado para obtener los datos necesarios para esta tarea, y posteriormente se introducirán una serie de casos habituales de degradaciones, junto con algún caso real de ejemplo, para ilustrarlos. En el último apartado se expondrán medidas correctoras ejecutadas sobre algunos de estos casos reales, y el resultado que se obtuvo tras estas medidas.

Antes de empezar cabe explicar una cosa, y es que, por motivos de confidencialidad de datos de la empresa, se han censurado los nombres de los nodos y celdas, de forma que no se mostrará el apartado de localización de estos, es decir, en lugar de ANDX1234, se mostrará solamente 1234. Este es el motivo por el que se verán huecos en las capturas debido a que se han borrado estos datos, y los nombres de los nodos y celdas no tendrán el identificador de localización, para así servir de mero ejemplo ilustrativo sin comprometer la privacidad de datos.

3.2 Obtención de datos brutos

En primer lugar, se obtiene la lista de celdas que presentan degradaciones. Al tratarse de una gran cantidad de celdas, concretamente, todas las de Orange, de nodos propios o RS, que dan servicio al AVE, sumando entre las 3 tecnologías más de 3000 celdas, no es viable analizar uno a uno todos los KPIs y la tendencia de estos en cada caso. Esta sería una tarea poco eficiente e inabarcable para una persona en un solo día, y requeriría un servidor con una capacidad de procesamiento demasiado elevada para analizar todos estos datos en un tiempo viable para ejecutar la consulta que sería necesaria para obtener todos estos datos. Así pues, se sigue el siguiente procedimiento.

Utilizando la herramienta Business Objects, se utilizan una serie de consultas que piden los datos de los nodos desde un archivo, en este caso, una hoja de cálculo con la lista de todas las celdas que dan servicio Orange al AVE. Se trata de 3 consultas, una para 2G, otra para 3G y otra para 4G. Cada una de estas consultas, obtendrá los datos acerca de los KPIs de interés de todas estas celdas en 2 días concretos, siendo uno de ellos el día a analizar las degradaciones (normalmente, el día hábil anterior al actual en el que se está realizando el análisis), y el otro el mismo día de la semana anterior. Posteriormente, se realiza un informe en forma de tabla, con la diferencia de los valores de estos KPIs en el día de interés, y el mismo día de la semana anterior, de forma que obtenemos valores de ΔKPI (delta de KPI) respecto a un día comparable, ya que por cuestiones de horarios y programaciones de trenes, además de las obvias fluctuaciones periódicas de tráfico, por ejemplo, no se tiene el mismo tráfico un martes que un domingo, y por tanto hay que comparar un martes con el martes anterior.

El objetivo de este informe es obtener cambios bruscos en estos KPIs respecto a la tendencia general. Por ejemplo, si una celda con comportamiento normal tiene 300 caídas diarias, obviar si ha pasado a tener 307, pero detectar si ha pasado a tener 400. Los KPIs de interés dependen de la tecnología, y vienen establecidos por la propia operadora, junto con el equipo de ingeniería de ARCA, entre los cuales especifican los umbrales de ΔKPI que significan una degradación. Estos se muestran en las Tablas 2, 3 y 4. Los motivos de la elección de estos KPIs son, como se ha comentado en el Apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mantener la QoE d el usuario, y asegurar una buena QoS por parte de la operadora, además de ayudar a evitar falsos positivos en degradaciones, que supondría una gran cantidad de trabajo superfluo que reduciría la eficiencia a la hora de su análisis.

Δ DROP	Δ BLOCK TCH	Δ DROP SD	Δ BLOCK GPRS	Δ TRÁFICO (<0)	% DOWN	Δ DCR * DROP	Δ CSSR* BLOCK TCH
≥ 15	≥ 10	≥ 1000	≥ 5000	≤ -0.9	> 20.83	No	< -50

Tabla 2 - Umbrales de Δ KPIs para analizar degradaciones en 2G

Δ DROP CS	Δ DROP PS	Δ BLOCK CS	Δ BLOCK PS	Δ TRÁFICO CS	Δ TRÁFICO PS	s DOWN	Δ DCR * DROP CS	Δ CSSR * BLOCK CS
≥ 15	≥ 1000	≥ 20	≥ 300	≤ -0.9	≤ -0.9	>18000	≥ 130	<-50

Tabla 3 - Umbrales de Δ KPIs para analizar degradaciones en 3G

Δ DROP PS 4G	Δ RRC Fails 4G	Δ ERAB Fails 4G	Δ DROP 4G	Δ CSSR ERAB Fails 4G
≥ 250	NO	≥ 300	≥ 200	< -360

Tabla 4 - Umbrales de Δ KPIs para analizar degradaciones en 4G

Los valores de las tablas 2 3 y 4 son agrupados por día. En el caso de las tasas (DCR y CSSR) se trata de la media diaria, % DOWN es el porcentaje diario de indisponibilidades en el nodo, mientras que s Down es la misma métrica, pero en segundos. Los valores de estos dos, que a priori pueden parecer excesivamente elevados, se explican en el apartado de indisponibilidades de madrugada sin afectación al servicio AVE (problema de la catenaria).

Los KPIs Delta DCR * Drop en 2G y Delta RRC Fails en 4G, indicados con un “NO” son valores que con el tiempo se dejaron de analizar por motivos logísticos, pero se han dejado indicados por si fueran de utilidad por otros motivos. Los KPIs simples (caídas, bloqueos, cambios de tráfico, e indisponibilidades) se analizan por los motivos anteriormente mencionados, y los valores compuestos (Delta DCR * Drop, Delta CSSR*Block CS, Delta CSSR * ERAB Fails, etc.) se analizan para detectar cambios de tendencia de caídas o fallos en celdas con un tráfico demasiado bajo para superar el umbral de corte para analizar la degradación.

Por ejemplo, es posible que una celda 3G con un tráfico de 1000 paquetes PS diarios tenga normalmente 5 bloqueos PS al día, y pase a tener 220 sin aumentar el tráfico. En este caso, el delta de bloqueos PS sería de 215 y no entraría en degradaciones a analizar, a pesar de haber multiplicado por 44 el número de bloqueos PS diarios. En cambio, si tenemos en cuenta el CSSR PS, que disminuiría de un 99.5% a un 78%, el valor de delta CSSR*Block_CS pasaría a ser -107.5, y sí entraría en degradadas.

Este valor no solo permite detectar degradaciones indetectables con umbrales de KPIs simples, sino que además descarta falsos positivos por aumento de caídas por fluctuaciones del tráfico. En estos casos veríamos que el valor neto de caídas entra en degradaciones, pero el valor de DCR*DROP sigue manteniéndose, y esto suele indicar que la degradación no es tal.

Volviendo al informe de BBOO del que se estaba hablando, como se ha dicho, se trata de una tabla en la que se muestran los Δ KPI del anterior día hábil respecto al mismo día de la semana anterior. Una vez obtenido este informe, se exporta a formato XSLX para realizar un filtrado de los valores de degradación según los umbrales de las Tablas 2, 3 y 4.

3.3 Filtrado de degradaciones por umbral

Tras este filtrado, según los valores de las Tablas 2 3 y 4, se obtiene una lista de los nodos con Δ KPI en valores de degradación, la cual se copiará al listado compartido del grupo de Carreteras y Ave, en la sección de “DELTA TOPS”, donde está el registro histórico de las degradaciones

redundante. Gracias a este cruce, se consigue evitar una gran cantidad de falsas degradaciones, ahorrando gran cantidad de tiempo y recursos invertidos en estas.

3.4.1 Ejemplos de falsos positivos

Un ejemplo de falso positivo común sería el de la Figura 29, donde se observa un comportamiento cíclico de caídas PS, con valores altos habituales debido a que la celda cursa una gran cantidad de tráfico, que pasan el umbral de degradación, aunque si tenemos en cuenta la variación de DCR y la tendencia general de caídas, está en valores habituales.

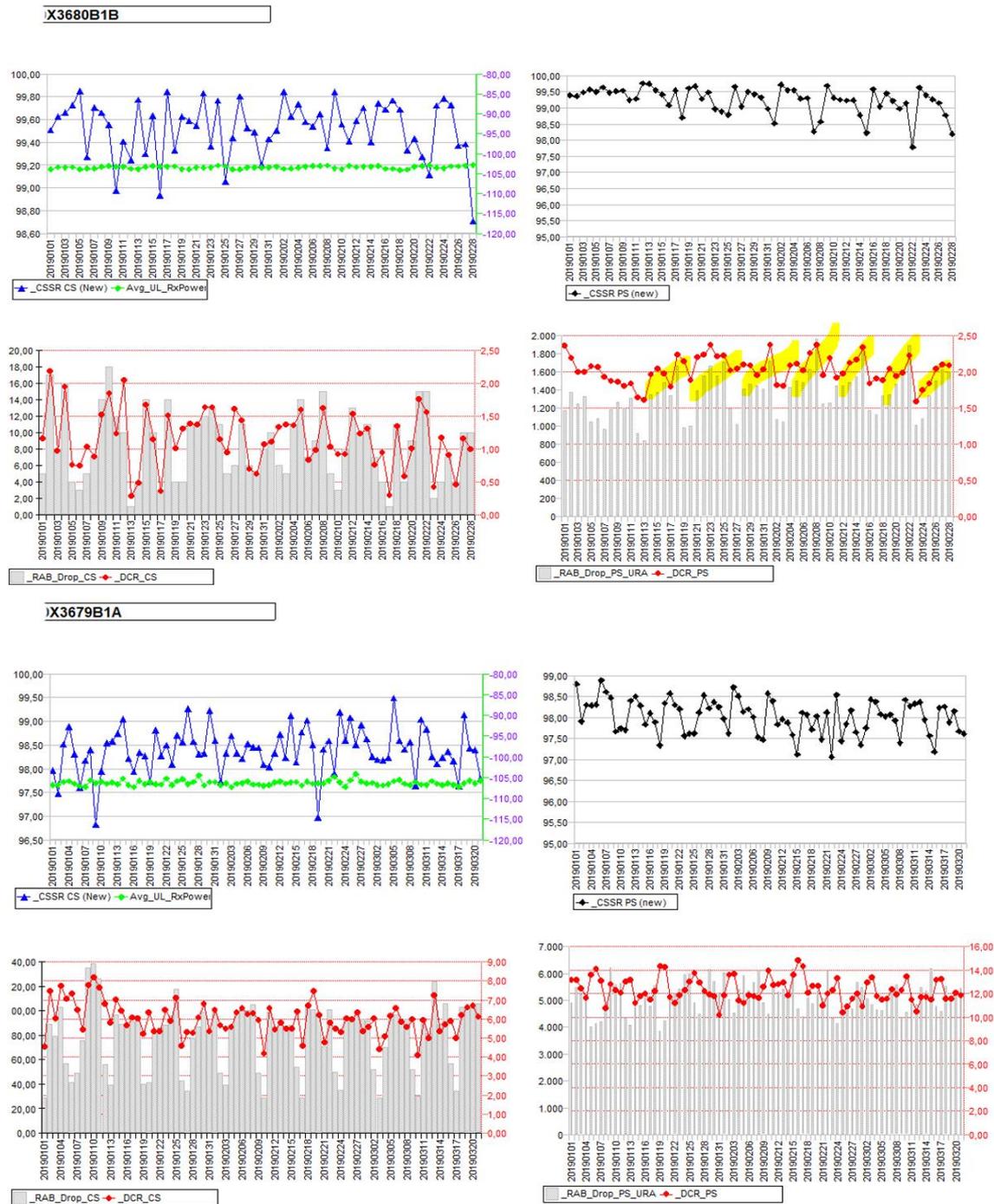


Figura 29 – Ejemplos de falsos positivos cíclicos

Otro ejemplo de falso positivo es el de una celda con una gran cantidad de tráfico, cuya mínima fluctuación de tráfico y/o KPIs pueda causar que numéricamente se supere el umbral neto en alguno de los KPIs analizados (caídas, bloqueos, etc.). Los KPIs de DCR y CSSR, como ya se ha comentado, suelen ayudar a detectar previamente falsos positivos, ya que, si se detecta una degradación por aumento de caídas, pero el DELTA DCR no aumenta en exceso, suele indicar que la celda se encuentra en valores habituales.

Así pues, tras determinar que estas degradaciones son falsos positivos, se pueden eliminar de la lista de degradadas del día, para centrarse en las degradaciones reales, que deben ser analizadas con más detenimiento para obtener el origen y la solución al problema.

3.5 Análisis de degradaciones

Como se ha visto en el apartado anterior, mediante las consultas generalistas es posible obtener una visión general del estado de los KPIs, se pueden descartar falsos positivos, y correlacionar alteraciones de KPIs con el objetivo de obtener el origen real de la degradación, y en caso de ser necesario, analizarla mediante una consulta más específica (RSSI, alcances, etc.).

Aquí reside la tarea más importante y complicada, y es correlacionar distintos KPIs y encontrar el origen de la degradación, mediante distintas metodologías, dependiendo del tipo de degradación. Este origen no es inmediato, ya que es posible que se encuentre que aumentan las caídas, pero sin comprobar distintos parámetros (tráfico, ruido, alcances), tanto de la propia celda, como de otras celdas del mismo nodo, o incluso de celdas vecinas, en ocasiones, no se podrá correlacionar ni obtener el motivo por el que aumentan estas caídas.

Así pues, en el siguiente apartado se ilustrará cómo se obtiene este origen de la degradación en los casos más comunes e interesantes desde el punto de vista de ingeniería, con algunos ejemplos simples, y finalmente se presentarán una serie de casos reales en los que se han utilizado distintas metodologías para obtener el diagnóstico de la degradación. Los casos en los que se han realizado acciones correctivas más importantes y sus resultados, se exponen en el siguiente capítulo del trabajo.

3.5.1 Degradaciones comunes

Existen una gran cantidad de tipos de degradadas, ya que cada tecnología, zona, nodo, celda y portadora son un mundo, pero en este apartado se intentarán mostrar las más comunes, importantes e interesantes.

3.5.1.1 Aumento de caídas

Un aumento de caídas significa que en la celda a analizar ha habido un aumento en el número de llamadas cortadas una vez establecidas (CS), o pérdidas de paquetes que ya se habían entregado a la red (PS). Las causas de este tipo de degradación pueden ser diversas, ya sea por aumentos de tráfico, interferencias, indisponibilidades, etc.

3.5.1.1.1 Por tráfico (estadístico)

La primera posible causa de este aumento de caídas es un aumento de tráfico, por simples razones estadísticas. A más tráfico, más caídas. En caso de que en efecto las caídas tengan un aumento de tráfico asociado, hay que determinar si este aumento de tráfico está dentro de un margen de fluctuaciones razonables. No todos los días hay el mismo tráfico, y puede que una fluctuación ligeramente superior haga que se llegue al umbral de caídas. En caso de tratarse de esto, la

degradación no sería tal, ya que estas fluctuaciones son inevitables, y el aumento de caídas está totalmente causado por estadística y no tiene ningún impacto en el rendimiento de la red.

Si este aumento de tráfico fuese inusualmente grande, habría que determinar su origen, ya que esto sí que se considera una degradación que se sale de los márgenes de fluctuación habitual de la celda. Este puede estar causado por eventos (conciertos, partidos de fútbol, cabalgatas), festividades (un puente o día festivo hace que una gran cantidad de gente pase por una carretera un día concreto para visitar a la familia), o incidencias en la zona.

En caso de tratarse de un evento o festividad, de la misma forma que con las fluctuaciones, se descartaría como degradación, ya que se trata de algo puntual, inevitable, y solucionado. En caso de repetirse periódicamente (por ejemplo, un nodo que da servicio a un campo de futbol y que congestiona los días que hay partido), se podrían pedir parametrizaciones especiales para dichos eventos.

También es posible que el cambio de tráfico esté causado por una parametrización realizada por un grupo de optimización. En ese caso debería tener un TP asociado, aunque no necesariamente. Un caso común de cambios en el tráfico de una celda por parametrizaciones, es que otra portadora de la misma celda, nodo, o de un nodo vecino, haya absorbido este tráfico. Esto se puede observar viendo la correlación entre una disminución de tráfico y el aumento de tráfico de otra portadora de la misma celda, nodo o nodo vecino. Un ejemplo sería el de la Figura 30, donde podemos observar como a partir del 19 de noviembre aumenta el tráfico en la primera portadora, y disminuye en la tercera portadora, por lo que parece bastante claro que ha habido un trasvase de tráfico de la 3PO a la 1PO, lo cual es lógico y razonable, ya que directamente viene por *baseline* que las 1PO cursen la mayoría del tráfico, mientras que el resto de portadoras sirvan de “alivio” en caso de congestión, y por tanto cursen un tráfico menor.

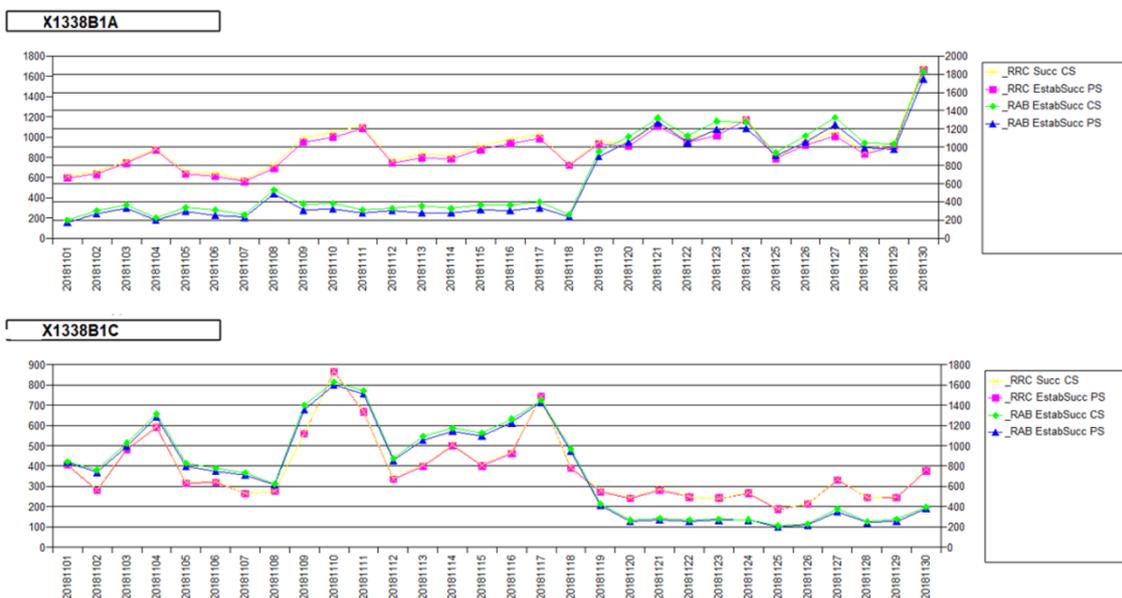


Figura 30 – Tráfico de una celda de U2100 representado en BBOO

En cambio, si se trata de un aumento de tráfico causado por una incidencia en la zona, hay que analizar con detenimiento la degradación, y determinar de dónde viene este tráfico. Lo más común es que este tráfico provenga de otra celda que sufre indisponibilidades, y en este caso, aunque puede que el aumento de caídas siga siendo de origen estadístico por el puro aumento de tráfico,

lo más común es que la celda congestione al cursar más tráfico del que se supone que debería cursar, y para el cual está dimensionada.

3.5.1.1.2 Por tráfico (congestión)

Lo primero que hay que hacer en caso de tener un aumento de tráfico es comprobar si ha sido un aumento puntual, o generalizado a lo largo del día. En caso de que sea generalizado a lo largo del día lo más probable es que se trate de una fecha especial (víspera de festivo, evento en la zona, etc.), o que haya habido parametrizaciones, como se ha explicado anteriormente. Aunque no es necesario que sea así, ya que puede que el cambio de tráfico provenga de un nodo vecino caído, el cual lo ha estado durante un largo período de tiempo, o incluso sigue caído en el momento del análisis.

Esto se puede comprobar en la herramienta MAQA, observando los intentos de establecimiento RRC (y, por tanto, de conexión de usuarios a la red a través de la celda en cuestión), y comprobando si hay un aumento generalizado a lo largo del día, o es en un momento concreto cuando aumenta de forma abrupta.

5 Agrupar NodoB y Hora		Nodo	Fecha	Actualizar	RAB_CS		RRC_DROP		RAB_PS		CSSR		New_CSSR		RRC_CS		RRC_PS		RAB_VOZ		RAB_PS		Dispo		HS					
Día	Hora	RNC	Celda	Drop	%Drop	Cob	Neig	Soft	Drop	%Drop	%VOZ	%PS	%CS	%PS	Att	Fail	%Suc	Att	Fail	%Suc	Att	Fail	%Suc	Att	Down	Att	Fail	%Suc		
0102	0000		3682B1	0	0.00	0	0	0	18	0.63	100	99.61	100	99.97	4	0	100	258	0	100	8	0	100	259	1	99.61	0	259	1	99.61
0102	0100		3682B1	0	0.00	0	0	0	24	0.88	100	98.96	100	99.85	1	0	100	197	0	100	7	0	100	193	2	98.96	0	193	2	98.96
0102	0200		3682B1	0	0.00	0	0	0	15	0.57	100	95.97	100	99.76	1	0	100	132	0	100	1	0	100	149	6	95.97	0	149	6	95.97
0102	0300		3682B1	0	0.00	0	0	0	24	0.99	94.70	99.61	100	99.61	0	0	100	160	0	100	3	0	100	151	8	94.70	0	151	8	94.70
0102	0400		3682B1	0	0.00	0	0	0	42	0.56	100	94.78	100	99.58	2	0	100	617	6	99.03	5	0	100	559	24	95.71	0	559	24	95.71
0102	0500		3682B1	0	0.00	0	0	0	67	0.91	100	99.36	100	99.92	5	0	100	636	1	99.84	16	0	100	625	3	99.52	0	625	3	99.52
0102	0600		3682B1	0	0.00	0	0	0	87	1.34	100	97.71	100	99.66	5	0	100	837	14	98.33	20	0	100	793	5	99.37	0	793	5	99.37
0102	0700		3682B1	1	5.88	0	0	0	72	1.94	100	97.73	100	99.46	4	0	100	593	3	99.49	17	0	100	621	11	98.23	0	619	11	98.22
0102	0800		3682B1	1	2.56	0	0	0	58	1.51	100	99.18	100	99.76	12	0	100	580	3	99.48	39	0	100	672	2	99.70	0	672	2	99.70
0102	0900		3682B1	1	1.14	0	0	0	61	1.43	100	99.16	100	99.79	23	0	100	712	4	99.44	88	0	100	726	2	99.72	0	726	2	99.72
0102	1000		3682B1	4	1.31	0	0	0	241	2.27	97.74	88.64	98.23	89.29	152	1	99.34	2148	228	89.39	310	5	98.39	2199	19	99.14	0	2198	26	98.82
0102	1100		3682B1	8	2.82	4	0	1	251	3.15	97.15	90.83	96.97	90.50	125	1	99.20	1438	122	91.52	290	6	97.93	1606	12	99.25	0	1606	13	99.19
0102	1200		3682B1	1	0.63	0	0	0	78	1.68	100	98.39	100	99.28	46	0	100	715	6	99.16	160	0	100	898	7	99.22	0	898	7	99.22
0102	1300		3682B1	2	1.29	1	0	0	92	1.89	99.36	99.40	99.44	99.21	54	0	100	767	2	99.74	156	1	99.36	879	3	99.66	0	878	2	99.77
0102	1400		3682B1	1	0.89	0	0	0	105	2.21	98.25	98.06	98.64	98.94	31	0	100	782	10	98.72	114	2	98.25	899	6	99.33	0	899	6	99.33
0102	1500		3682B1	1	1.10	0	0	0	118	2.43	100	95.08	100	96.50	31	0	100	746	32	95.71	91	0	100	903	6	99.34	0	903	6	99.34
0102	1600		3682B1	1	0.96	0	0	0	82	1.60	99.05	99.00	99.42	99.44	23	0	100	741	2	99.73	105	1	99.05	826	6	99.27	0	826	6	99.27
0102	1700		3682B1	5	3.91	1	0	1	144	2.69	100	98.39	100	98.86	40	0	100	910	95	89.56	128	0	100	1034	14	98.65	0	1033	13	98.74
0102	1800		3682B1	2	1.25	0	0	0	157	2.70	99.38	93.43	99.55	95.28	57	0	100	1024	57	94.43	161	1	99.38	1250	13	98.96	0	1248	11	99.12
0102	1900		3682B1	2	1.36	0	0	0	149	2.79	100	97.28	100	98.85	95	0	100	929	15	98.39	147	0	100	1065	12	98.87	0	1065	12	98.87
0102	2000		3682B1	3	1.42	0	0	0	142	2.63	100	96.60	100	96.23	54	0	100	741	2	96.23	147	0	100	900	11	96.23	0	900	11	96.23

Figura 31 - Aumento de tráfico concentrado y congestión asociada observados en MAQA

Como podemos observar en la Figura 31, la primera portadora de U2100 del S1 del nodo X3682 tuvo un aumento abrupto de intentos RRC PS (es decir, conexiones/tráfico) de 10.00 a 11.00 horas el 2 de enero. Como se observa, se degrada la DCR (también aumentan los bloqueos y CSSR, pero estamos tratando las caídas), por lo que no se trata de un simple aumento de caídas estadístico por el aumento de tráfico, sino que la celda congestiona por exceso de tráfico en este horario.

En cualquier caso, este aumento tan abrupto es algo inusual y, por tanto, hay que averiguar de dónde procede este tráfico. Como se ha mencionado anteriormente, lo más probable es que proceda de otro nodo que haya sufrido indisponibilidades en ese mismo horario (aunque también puede haber tenido una parametrización por parte de un grupo de optimización, el cual hizo *rollback* inmediatamente al ver que estaba degradando al nodo vecino). El caso práctico de la Figura 31 junto con la metodología utilizada para encontrar el origen de este aumento de tráfico se encuentra en el apartado de casos prácticos, concretamente en el CASO 1.

3.5.1.1.3 Por aumento de ruido/interferencia

Otro motivo habitual para el aumento de caídas inusual, esta vez sin aumento de tráfico asociado, es el del aumento de ruido/interferencia. Se comprueban distintos parámetros dependiendo de la tecnología:

- ICMBand en 2G debe ser igual o menor a nivel 2.
- RTWP en 3G debe ser igual o menor a -95 dBm.
- RSSI en 4G debe ser igual o menor a -110 dBm.

Aunque en los 3 casos el diagnóstico y medidas son los mismos. Se observa un aumento de interferencias que causan caídas en llamadas/paquetes, ya que, al aumentar el nivel de

interferencia, el nivel de señal puede confundirse con este, causando problemas de decodificación en recepción. Así pues, tras informar al responsable de zona correspondiente, se abre caso al grupo de RSSI asociado a través de la apertura de una incidencia, ya que desde ingeniería no se pueden realizar prácticamente acciones para paliar interferencias.

Tras esto, el grupo correspondiente debería hacerse cargo de encontrar el origen, y solucionar el problema de interferencia. Se tratan varios casos interesantes relacionados con las interferencias en el apartado de casos prácticos.

3.5.1.1.4 Por fallos de HO a celdas vecinas

En ocasiones es posible que no se encuentren motivos para el aumento de caídas en el nodo analizado, y esto puede ser porque no está en este el origen. En efecto, una caída es un corte de conexión durante el transcurso de una llamada o transmisión de datos, y esto puede deberse a un fallo de HO a una celda vecina en caso de usuarios en movimiento hacia ésta.

Así pues, es necesario, en caso de no encontrar origen inmediato a la degradación, que se analicen los HO hacia celdas vecinas y, en caso de observar cambios en estos, ya sea en la etapa de preparación (cuyos fallos pueden estar causados por problemas de identificación, conflicto de PCIs, autenticación, fallos de comunicación con el *core*, etc.), o en la etapa de ejecución (causados por problemas de parametrización, interferencias o indisponibilidades en la celda origen o destino, etc.), analizar la celda vecina a la que se encuentren estos fallos de HO, siempre que se puedan correlacionar con la degradación (empiezan el mismo día, etc.).

De esta forma, podremos obtener el origen real de este aumento de caídas. En el apartado de casos prácticos, en el CASO 2, se encuentra un caso interesante de aumento de caídas por fallos de HO a una celda vecina.

3.5.1.1.5 Indisponibilidades

Esta es la explicación que se ve más clara en caso de ser la causante. Si las caídas se concentran en un mismo horario, y en ese horario ha habido indisponibilidades, casi con total seguridad las indisponibilidades serán las causantes de las caídas.

Evidentemente, si se está realizando una llamada mientras se está conectado a una celda, y esta presenta indisponibilidades, al apagarse y dejar de dar servicio, la llamada caerá. Por tanto, en caso de correlacionar las caídas con las indisponibilidades, habría que buscar el origen de estas, y en caso de ser necesario, abrir incidencia para intervenir en local para que estas cesen. Más detalles en el apartado de indisponibilidades, Sección 3.5.1.5.

3.5.1.2 Aumento de fallos

Los fallos son denegaciones de servicio, es decir, fallos en el intento de establecimiento de conexión de cierto tipo. Pueden ser RAB o RRC, CS o PS, por congestión de CE, por potencia, etc. Y las causas también pueden ser diversas.

3.5.1.2.1 Por tráfico (estadístico)

De la misma forma que con las caídas, un aumento de tráfico puede causar un aumento de fallos, por motivos estadísticos (más tráfico, más bloqueos, manteniendo la proporción o CSSR). Siempre que el CSSR no se dispare, no debería haber problema en este tipo de aumento de fallos, aunque de reiterarse en el tiempo, debería controlarse el aumento de tráfico, ya que puede indicar que un nodo vecino ha dejado de cursar, entre otras posibles causas.

3.5.1.2.2 Por tráfico (congestión)

Si existe un aumento de fallos, y se tiene la posibilidad de discernir de qué tipo son (se tiene la herramienta adecuada y acceso a estos datos), pueden dar pistas acerca de donde está el problema.

Por ejemplo, fallos por congestión de CE indican que la celda cursó más tráfico del que debería según su dimensionado, ya que se quedó sin CE para servir a tantos usuarios, lo cual puede remitir al apartado de tráfico (congestión), mientras que fallos por potencia en DL, significa que la RRU no puede dar más potencia y está congestionando, lo cual aparte de poder significar lo mismo que los fallos por congestión CE, también puede significar que la celda ha servido a tráfico demasiado lejano.

En la Figura 32 se puede observar un ejemplo de una celda que presenta un comportamiento como el descrito. A partir del 08/11 empieza a presentar un aumento de conexiones PS con degradación por aumento de fallos RRC PS por falta de *Channel Elements*. Esto quiere decir que desde ese día está cursando más tráfico del que debería estar cursando según el dimensionado y configuración de su hardware. Siguiendo el procedimiento del caso del apartado 3.5.2.1, es decir, acotar la zona de la que procede este aumento de tráfico para encontrar algún nodo caído o con problemas, se encuentra que un nodo vecino está caído desde el 07/11. Se comprueba a través de las INIs asociadas, que el nodo vecino ha sido desmantelado, y por tanto este aumento de tráfico por absorción será permanente. En este caso hay que parametrizar para que este nuevo tráfico provoque degradaciones.

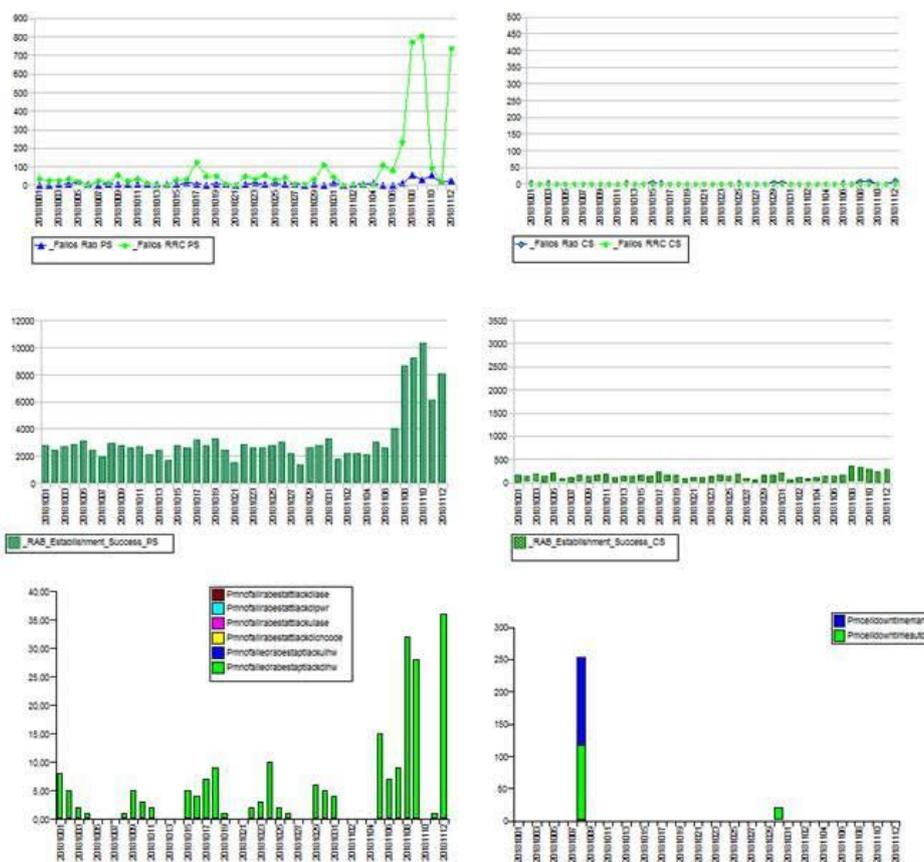


Figura 32 -- Ejemplo de celda con fallos por PW y CE

Normalmente estas parametrizaciones las planificaría e implementaría el grupo de optimización correspondiente, pero al tratarse de una degradación en curso y sin gestión, se propone este cambio. Las medidas tomadas para paliar la degradación y los resultados obtenidos posteriormente se encuentran en el apartado de medidas correctoras y resultados, en el caso 4.2.1.

3.5.1.2.3 Por licencias de CE

También es posible que estos fallos por CE provengan de un fallo en la configuración de licencias en el nodo. Los CE son los recursos de radio que tiene el nodo, y suelen asignarse a cada uno en forma de licencias. Así pues, en caso de que a un nodo se le quiera asignar un tráfico mayor, de ser posible en la zona, se le configurarán un número mayor de licencias de CE.

Así pues, en caso de que se configuren estas licencias de forma errónea, el nodo se quedará pronto sin licencias de CE, y no podrá asignar más canales a los usuarios que intenten conectarse, de forma que estas conexiones recibirán una denegación de servicio, que se contabilizará como fallo por CE, pudiendo confundirse con los usuales aumentos de fallos por CE por aumento de tráfico que congestiona el nodo.

En este caso, en este se encontraría una alarma por fallo de licencias de CE, y se debería informar al responsable de zona para que se configuren las licencias en el nodo, dado que ingeniería de ARCA no tenemos acceso a este tipo de configuraciones. Se ejemplifica este tipo de degradación en el apartado de medidas correctoras y resultados, en el caso 4.2.2.

3.5.1.2.4 Por swap de HW 3G infra-dimensionado

Es posible que se encuentren una gran cantidad de fallos por PW en DL, lo cual, como ya se ha indicado anteriormente, puede señalar congestión de tráfico en DL (demasiados usuarios conectados), o bien que se está sirviendo a usuarios demasiado lejanos (sobre-alcance o similares). También, es posible que se trate de un cambio de RRU en el nodo, la cual no está preparada para soportar el tráfico habitual de la celda, aunque sí en caso de una reducción de tráfico significativa debido a la integración de nuevas tecnologías.

Así pues, es posible que, al integrar LTE en un nodo, se realice un SWAP de equipos de 3G, los cuales han sido dimensionados teniendo en cuenta que LTE estaría radiando y que por tanto la mayor parte del tráfico se cursaría en esta tecnología, y hasta la Puesta *On Air* (POA) de LTE, estarán infra-dimensionados, y pueden presentar problemas de fallos por PW, como los mencionados, u otras degradaciones asociadas.

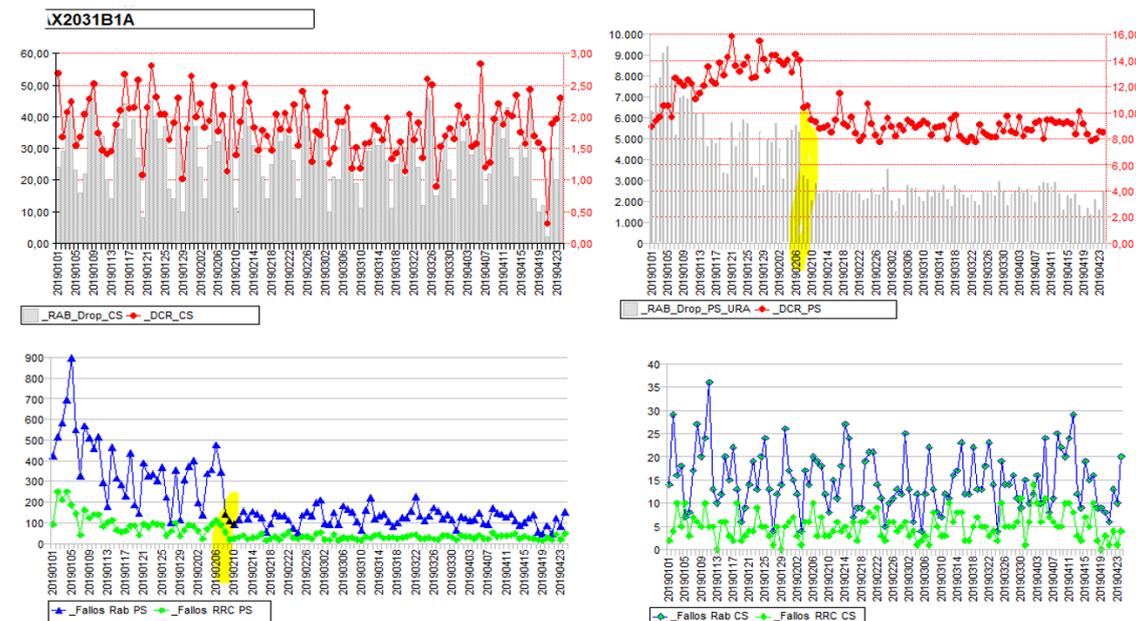


Figura 33 - Fallos en 3G por swap de HW infra-dimensionado

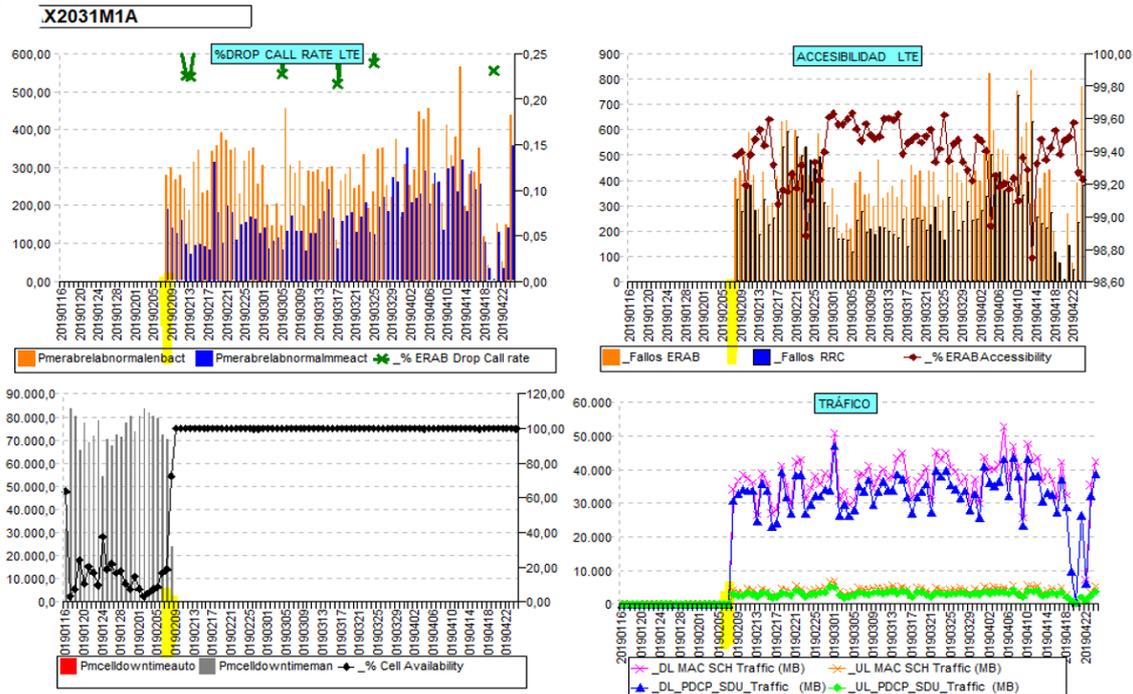


Figura 34 - Encendido de LTE, tras el cual se soluciona degradación 3G

Como se observa en las Figuras 33 y 34, el nodo 3G tiene una DCR bastante alta, y un número de fallos bastante elevado, y al empezar a radiar LTE, disminuye el tráfico en 3G y la degradación se reduce. En caso de ser este el caso y no estar radiando LTE todavía, habría que determinar la POA, y si esta es muy lejana, tomar otras acciones de parametrización para paliar la degradación por lo menos hasta la POA.

3.5.1.2.5 Indisponibilidades

De la misma forma que con las caídas, las indisponibilidades pueden causar fallos. Si se intenta establecer una conexión mientras se está siendo servido por una celda, y esta está caída, obtendremos una denegación de servicio.

Si los bloqueos se concentran en un mismo horario, y en ese horario ha habido indisponibilidades, casi con total seguridad las indisponibilidades serán las causantes de los fallos.

Por tanto, en caso de correlacionar los bloqueos con las indisponibilidades, habría que buscar el origen de estas, en caso de ser necesario. Más detalles en el apartado de indisponibilidades 3.5.1.2.5.

3.5.1.3 Caídas o fallos de tipo MME

Este tipo de caídas o fallos, por lo menos a nivel de etiquetado, tienen origen en el MME. Es decir, en caso de que se detecte, por ejemplo, un aumento de fallos RAB en un nodo 4G, y se pueda discernir que son fallos de tipo MME, quiere decir que han aumentado el número de eRABs que se han cortado debido a fallos en el *Evolved Packet Core*.

Al tratarse de problemas de Core, en la mayoría de casos no hay mucho que se pueda hacer desde la parte de Radio, así que normalmente simplemente se informa del problema para que se ocupe el grupo correspondiente desde la parte de Core. Aun así, es posible identificar el error si se dan una serie de requisitos. Primero, se debe comprobar si los HO han cambiado. En caso de que hayan cambiado, y el porcentaje de HO haya bajado, se debe comprobar si estos han fallado en la etapa de preparación.

Esto es debido a que fallos en la etapa de preparación significa que no se ha podido llegar a inicializar este, y que por tanto se trata de problemas en el EPC y se pueden relacionar estos dos sucesos. También es posible discernir hacia qué celdas están fallando los HO, acotando todavía más el problema a estas celdas, y, en ocasiones, pudiendo discernir el problema desde la parte radio (comprobando IDs, si la celda destino tiene algún problema, etc.)

Identificar problemas en los HO ya es suficiente para facilitar información al grupo correspondiente, pero se podría ir más allá, intentando identificar qué problema causa este fallo en la preparación de los HO. Una posible causa es un problema de identificación. El MME es el encargado de realizar la identificación de todas las conexiones, entre otras cosas. Y un fallo en algún código de identificación puede causar que el MME corte la conexión, al no reconocer esta. Esto puede deberse a un error de asignación de nodeID, cellID, PCI, u otro código identificador, que se haya podido cambiar por diversos motivos (nuevos encendidos, parametrizaciones puntuales, etc.), y no se haya detectado por el grupo correspondiente.

Esto puede comprobarse mediante la comparación de *exports*, obteniendo los datos de antes, y después de empezar la degradación, y en caso de que haya algún ID distinto, casi con total seguridad los fallos o caídas MME y los HO se deban a que el MME no reconozca este ID distinto. La solución pasaría por introducir el ID correcto, sea en la configuración del nodo, o en la base de datos del MME, siendo la primera más fácil y conveniente.

Otra posible causa de estos fallos con degradación en HO asociada, sería la falta de vecinas. Los nodos vecinos se listan en la configuración de cada nodo, de forma que este pueda identificar los nodos a los que puede realizar HO. Es frecuente introducir cambios en estas listas de nodos vecinos en optimización, eliminando nodos demasiado distantes, o que hayan reducido su huella radio en la zona donde se solía hacer HO y ahora resulte en caídas, etc. Pero en ocasiones el borrar una vecina puede traer problemas, tales como que fallen los HO por no encontrar vecinas a las que traspasar la conexión.

Comprobar si es este el problema es muy parecido a la anterior solución, y es que analizando en los *exports* correspondientes si falta alguna vecina justo antes y justo después del comienzo de la degradación, puede indicar el origen de esta. En caso de que falten una o más vecinas en la lista del nodo, y comprobar a través de Google Earth u otras herramientas de que se trate de una vecina cercana y/o importante, es muy probable que la solución de la degradación pase por volver a introducir este nodo vecino en la configuración del nodo degradado.

Otro ejemplo posible de fallos en HO causantes de caídas o fallos MME es el del conflicto de PCIs. El Physical Cell ID es un número de identificación que debería ser único en una zona geográfica, dado que identifica y distingue a una celda del resto. Es posible que, debido a reconfiguraciones, despliegues, integraciones, etc. Se configuren PCIs nuevos en la zona, y por error, se asigne uno o más PCIs que ya estaban en la zona. Esto puede causar que, en caso de que un UE tenga en su *detected set* a más de una celda con el mismo PCI, detectando una con mayor cobertura, intente hacer HO a otra más lejana con el mismo PCI, suponiendo caídas, o incluso bloqueos debido a la baja cobertura. Esto puede comprobarse con una simple comparación de *exports*, listando las celdas de la zona, y buscando PCIs duplicados. Un ejemplo de esta degradación y los resultados tras su resolución, se puede ver en el apartado 4.2.4.

3.5.1.4 Pérdida de tráfico

La pérdida de tráfico no es necesariamente una degradación en el nodo, aunque es importante localizar donde ha ido a parar este tráfico, ya que puede estar causando una degradación en otro nodo o celda. Además, la operadora se toma muy en serio este tipo de degradación, ya que su prioridad es dar servicio, y a menor tráfico, menor servicio.

Inicialmente habría que comprobar si realmente la pérdida de tráfico es tal, o en cambio se trata de meras fluctuaciones de tráfico en el nodo. Lo más prudente sería, además de comparar la

evolución de tráfico en la celda, y ver si está dentro de los valores habituales de la celda, esperar unos cuantos días para comprobar que la pérdida de tráfico se mantiene en el tiempo. En caso de que finalmente se mantenga en el tiempo una pérdida de tráfico fuera de los valores habituales de la celda, habría que empezar a analizar de forma más detenida esta degradación.

3.5.1.4.1 Por nuevos encendidos (absorción)

Una posible causa para una pérdida visible de tráfico es muy obvia, y son los nuevos encendidos, los cuales pueden causar estas pérdidas de tráfico de distintas formas.

La más obvia sería una nueva integración de LTE en el nodo, la cual causaría que la mayoría del tráfico PS, y gran parte del tráfico CS (en caso de que el nodo esté en una red con IMS, y por tanto pueda ofrecer VoLTE) pasase a cursarse sobre el nodo LTE, y por tanto se redujera el tráfico tanto en 3G como en 2G.

Lo mismo pasa si un nodo vecino empieza a radiar LTE, y uno de sus sectores de nueva integración radia en zona de solape con la celda que pierde tráfico, y es que en caso de obtener cobertura de una celda 3G y otra 4G, se suele parametrizar para priorizar siempre 4G.

3.5.1.4.2 Por nuevas integraciones (adaptación SSRR)

Otra posible causa de pérdida de tráfico debido a nuevas integraciones es más sutil, y es que, es posible que una nueva integración haga perder tráfico antes de empezar a radiar. Es probable que para esta nueva integración se haya dimensionado y planificado de forma que se tengan que cambiar las antenas existentes en el nodo.

Para comprobar el origen de esta pérdida de tráfico, inicialmente se deben comprobar los alcances. En caso que estos hayan cambiado desde el día que empezó la pérdida de tráfico, puede indicar el origen de esta.

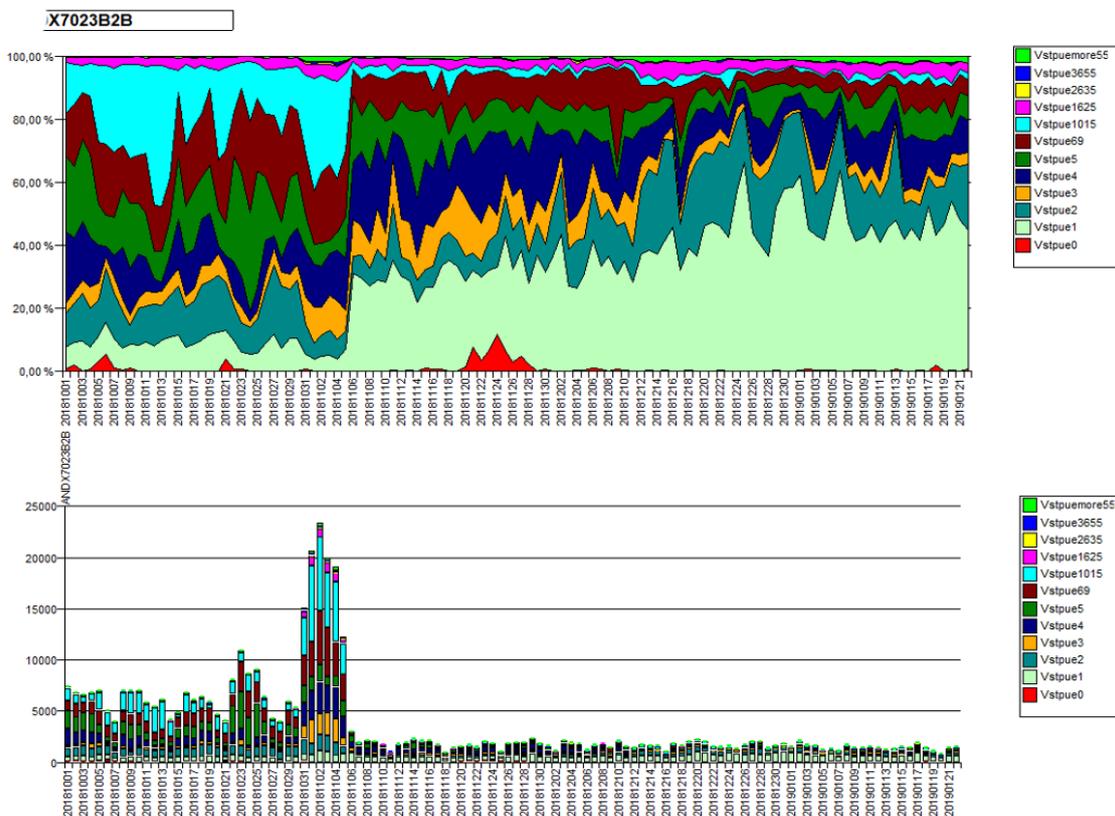


Figura 35 – Cambios en los alcances y pérdida de tráfico

En la parte superior de la Figura 35 se observa que, desde el día en el que empieza la pérdida de tráfico, cambian los alcances significativamente, aumentando el porcentaje de muestras cercanas y disminuyendo el de las lejanas. Viendo la segunda parte de la imagen, vemos que las muestras lejanas, que suponían una gran parte del tráfico, prácticamente han desaparecido.

Es posible que los cambios en los alcances se deban a aumentos del tilt, en este caso, un *downtilt* ya que aumentan las muestras lejanas, pero el hecho de que también se reduzca el tráfico cercano (aunque aumente en relación al total), además de la enorme variación en los alcances (sería razonable un cierto cambio, no uno tan radical como el de la imagen), indica que no se trata de una simple parametrización.

Se puede consultar el CAP para comprobar si hay trabajos planificados en el nodo, y, como en el caso de la Figura 35, puede que se encuentre un cambio en las antenas con un ancho de haz más estrecho, explicando esta disminución de muestras lejanas, al tener mayor directividad enfocada hacia las vías del tren (lo que interesa) y reduciendo las muestras fuera de éstas.

Así pues, se puede observar que la pérdida de tráfico, a pesar de deberse a la integración de LTE, ha sido anterior al encendido de éste, ya que, solo cambiando las antenas por otras más directivas, ya se ha reducido la zona de cobertura del nodo.

3.5.1.4.3 Por parametrizaciones

En caso de no encontrar nuevas integraciones, ni en el nodo que pierde tráfico, ni en sus nodos vecinos, habría que comprobar si el nodo tiene parametrizaciones programadas en el apartado “Zeus” de MAQA en la fecha que empezó a perder tráfico. Es posible que, por motivos de optimización, en caso de HO, se haya decidido reducir la re-selección a cierta tecnología, nodo, o celda. En la Figura 36 se puede observar un ejemplo.

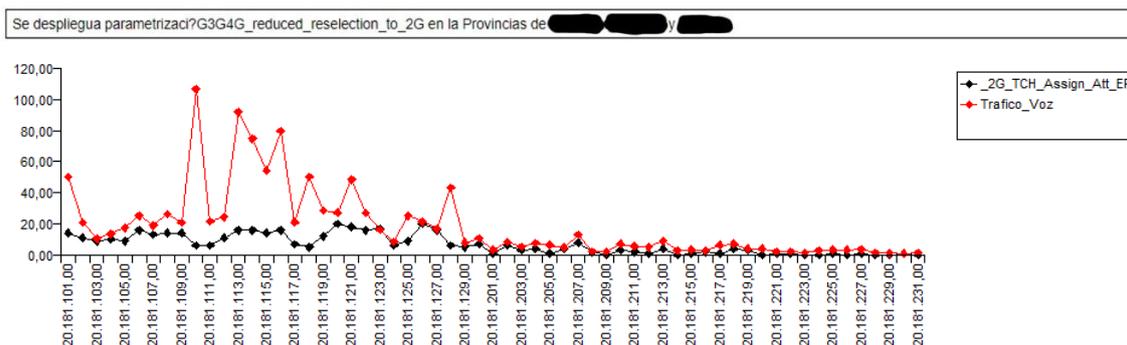


Figura 36 - Ejemplo de parametrizaciones y reducción de tráfico

En este caso, se observa una pérdida significativa de tráfico de casi un 60% en un nodo 2G. No se observan indicadores habituales (cambios de alcance, cambios de HW, etc.), por lo que se consultan los TP, y como se observa en la parte superior de la Figura 36, existe un TP en el que se indica una parametrización para reducir la re-selección a 2G, por lo que a partir de la fecha en la que se hizo efectivo este cambio, lógicamente se observa una disminución del tráfico en todo el nodo 2G. Otro ejemplo común de parametrización que causa pérdida de tráfico, sería el del trasvase de tráfico de las terceras PO a las primeras PO, como se observa en la Figura 30.

En la Figura 30 vemos una representación gráfica en BBOO de los valores de éxito en el establecimiento de RRC y RAB CS y PS. Una conexión RRC representa un usuario conectado a la red que puede o no estar activo, y una conexión RAB representa un usuario con conexión activa y transmitiendo datos, por tanto, es una medida representativa del tráfico que cursa la celda a lo largo del día.

Así pues, siguiendo con el caso de pérdida de tráfico, como se observa en la Figura 30, la 3PO de U2100 del S1 del nodo X1338 presenta una pérdida de tráfico notable a partir del 19 de noviembre de 2018, el mismo día que la 1PO de la misma celda presenta un aumento de tráfico. Así pues, no es de mucho asumir que el tráfico de la 3PO ha sido absorbido por la 1PO, y que esto es debido a

parametrizaciones realizadas por el grupo correspondiente para optimizar el rendimiento de la celda, dado que las 1PO deberían cursar todo el tráfico posible sin congestionar, y las 3PO solo deberían cursar el tráfico “sobrante”.

En este caso, solamente con incluir este hecho en la documentación de la degradación sería más que suficiente, ya que se ve a simple vista que el tráfico no se ha perdido, sino que se ha reestructurado, y esta parametrización, además de correcta, es habitual.

De todas formas, en caso de necesitar comprobar si ha habido cambios en parámetros de la celda, se pueden comprobar los *exports*. Para realizar esta comprobación se pueden comparar 2 *exports* de justo antes y justo después de que se haya producido el cambio en el comportamiento de la celda, y comprobar si ha habido cambios en algún parámetro asociable. Esto es extrapolable a cualquier otra degradación que pueda relacionarse como cambios en parametrización.

Se obtenga o no la causa de la pérdida de tráfico por parte del nodo, es igual de importante comprobar los nodos vecinos, ya que es posible que degraden por congestión al cursar el tráfico que ha perdido el nodo en cuestión. En el apartado de casos prácticos, se encuentra un caso interesante de bajada de tráfico, concretamente en el CASO 2.

3.5.1.5 Indisponibilidades

Las indisponibilidades en el nodo son un problema serio. Cada minuto que pasa un nodo sin estar radiando, es mucho dinero perdido en posibles llamadas realizadas y/o datos consumidos en la zona para la operadora, y obviamente, cuando un nodo se encuentra caído, se suelen tratar y atender con prioridad.

Normalmente las caídas de nodos son atendidas en el momento por el grupo de monitorización de red en tiempo real (RTM), pero en algunos (demasiados) casos, no se atienden por motivos burocráticos y de responsabilidad entre grupos, y es imprescindible solucionarlas cuanto antes. Existen multitud de razones por las que una celda deja de prestar servicio. A continuación, se comentarán brevemente algunas de las más representativas y comunes.

3.5.1.5.1 De madrugada sin afectación al servicio AVE

Al tratarse de nodos que dan servicio al AVE, no suelen tratarse con tanta urgencia los problemas de madrugada, dado que el AVE no circula en este horario. Normalmente, si se observan indisponibilidades tras las 23.00 y antes de las 06.00, fuera del horario del servicio AVE, suelen tratarse como meras observaciones, sin más importancia, dado que estas indisponibilidades no han afectado al servicio AVE, y tras este horario ha recuperado.

Además, está el tema de la catenaria. Muchos nodos AVE están montados dentro de las instalaciones de ADIF, y van alimentados por la misma catenaria que alimenta los trenes. Por motivos de ahorro de energía, en ocasiones, y algunos tramos, ADIF desconecta esta catenaria de madrugada en los horarios en los que no es necesario que esté conectada porque no pasan trenes, por lo que los nodos alimentados por esta, quedan apagados en este horario.

En cuando a KPIs, se observa como una indisponibilidad por caída sin gestión, ya que el nodo no se ha bloqueado manualmente ni automáticamente por el sistema por algún tipo de parametrización, por lo que a primera vista suele llamar la atención.

No obstante, si se observa que las indisponibilidades se han producido de madrugada, y dentro del horario en el que ADIF no ha prestado servicio, a no ser que estas indisponibilidades duren bastante más del umbral establecido (5 horas) y no recuperen tras este horario de madrugada, se suelen desestimar achacándose al apagado de la catenaria y por no tener consecuencias en el servicio AVE.

Este es uno de los motivos por los que el umbral de *downtime* está establecido a los valores que está, dado que el tiempo de apagado suele ser el mismo todos los días (horario en que no circulan

trenes), y se establece un umbral mayor a este, para desestimar los nodos apagados por la catenaria que causarían multitud de falsos positivos. Aun así, en ocasiones se detectan algunas de estas, y con una mera anotación y comentario es suficiente, ya que no supone ningún problema para el servicio.

3.5.1.5.2 Por fallos de HW

Un caso obvio causante de indisponibilidades en el nodo, es el de los fallos de HW. Una antena empieza a fallar, una controladora o una RRU dejan de funcionar, un cable se corta por sabotaje o por problemas “naturales” (roedores, etc.), existen problemas de suministro eléctrico o alimentación, la refrigeración ha sido sabotada por unos vándalos y el nodo se alarma por temperatura excesiva, etc. Todos estos problemas se dan de forma muy común, y causan que el nodo deje de dar servicio.

En caso de que una indisponibilidad se reitere en el tiempo y no haya sido atendida todavía, en caso de no encontrar alarmas en el nodo, o encontrar alarmas que señalen problemas de HW, es necesario abrir una incidencia para revisar el nodo en local, y solucionar este problema cuanto antes. Poco más se puede hacer desde ingeniería de radio para tratar los problemas HW en remoto.

3.5.1.5.3 Por trabajos en el nodo

Otro motivo común causante de indisponibilidades en el nodo son los trabajos en local, por cambio de HW, integraciones, *swaps*, etc. Que, por motivos obvios, requieren un apagado de éste para poder trabajar y realizar las acciones necesarias.

También es probable que se encuentre que el nodo ha sido bloqueado manualmente, lo cual suele indicar trabajos en remoto por configuraciones o trabajos en local futuros que requieren del bloqueo del nodo con antelación.

En cualquier caso, como en todos, en caso de que la indisponibilidad se mantenga en el tiempo y no se haya solucionado todavía, se debe reportar y solicitar las acciones necesarias por si no se trata de un apagado controlado.

3.5.1.5.4 Por desinstalación, repliegue o rehomíng

Obviamente, si un nodo se desinstala o repliega a otro (se relocaliza el HW a un nodo cercano pasando a cursar a través de este, y, por tanto, desapareciendo de forma lógica para la red), este no estará disponible para cursar tráfico.

Normalmente se suele indicar con una WO, aunque en ocasiones, en caso de realizar desinstalaciones o repliegues masivos, es posible que algunos no estén indicados. En este caso con solicitar información a zona es suficiente.

Otro caso usual es el del *rehomíng*. Cuando un nodo cambia de BSC/RNC, inicialmente se bloquea, y posteriormente dejan de obtenerse datos, tanto en MAQA como en BBOO, y pasa a reportar los datos, con el mismo nombre de nodo y celdas, pero con BSC/RNC distinto. Esto causa que obtengamos una falsa degradación por pérdida de tráfico e indisponibilidades, aunque el nodo ha seguido cursando de forma habitual, solamente la información se ha dividido ese día, entre el nodo en una BSC/RNC, y el mismo nodo en otra BSC/RNC.



Figura 38 - Ejemplo de *combined cell*

En el caso de la Figura 38, se puede observar cómo desaparecen los datos de S2, y aumenta el tráfico en S1. Realmente no aumenta el tráfico, sino que se ha configurado el *combined cell*. Los dos sectores físicos siguen radiando de la misma forma que antes, pero una vez se procesa el tráfico de S1 y S2, este se computa de forma indistinta como un solo sector lógico, y cada contador, KPI, valor, etc. a la hora de reportarlo a la base de datos de donde se obtienen estos, se suman de forma conjunta.

Para simplificarlo, siguiendo con el ejemplo de la Figura 38, antes de configurar el *combined cell* se tiene S1 con alrededor de 2000 llamadas diarias y S2 también con 2000 llamadas. Una vez configurado el *combined cell*, de forma transparente, se procesan los datos de ambos sectores como si S1 tuviera 4000 llamadas. Lo mismo pasa con cualquier KPI o contador del nodo. A pesar de esta modificación a la hora del procesado, como se ha explicado antes, los sectores físicos siguen radiando cada uno en su dirección y con sus respectivas configuraciones, pero se benefician de la capacidad de procesamiento conjunta, ya que ahora las 2 controladoras trabajan el mismo tiempo haciendo su tarea más eficiente, como se ha comentado anteriormente, como un SLI o Raid0.

3.5.2 Casos prácticos

En este apartado se presentarán algunos casos prácticos que, por distintos motivos, se han considerado especialmente interesantes e ilustrativos, ya sea por el origen de la degradación, la metodología para obtener dicho origen, la correlación interesante entre distintos KPIs, o una combinación de las anteriores.

3.5.2.1 CASO 1: Aumento de caídas con aumento puntual de tráfico asociado

En el caso de la Figura 31 del apartado de aumento de caídas por aumento de tráfico (congestión), se encontraba un aumento de tráfico puntual que hacía congestionar el nodo aumentando las caídas. Existen 2 formas de averiguar de dónde viene el tráfico.

La primera es por tanteo. Se puede utilizar Google Earth para localizar el nodo que ha sufrido el aumento de tráfico, y comprobar las vecinas que tiene. En caso de tratarse de un nodo alejado de núcleos urbanos, por ejemplo, un nodo que de servicio al AVE en zonas rurales, y que por tanto, solo tiene como nodos vecinos a otros nodos del ave, y a los pocos nodos que den servicio a esa zona rural, el tanteo sería la opción más adecuada, ya que simplemente comprobando los 4 o 5 nodos más cercanos tendremos prácticamente total seguridad de encontrar el nodo vecino de donde procede el tráfico, en caso de que sea ese el problema.

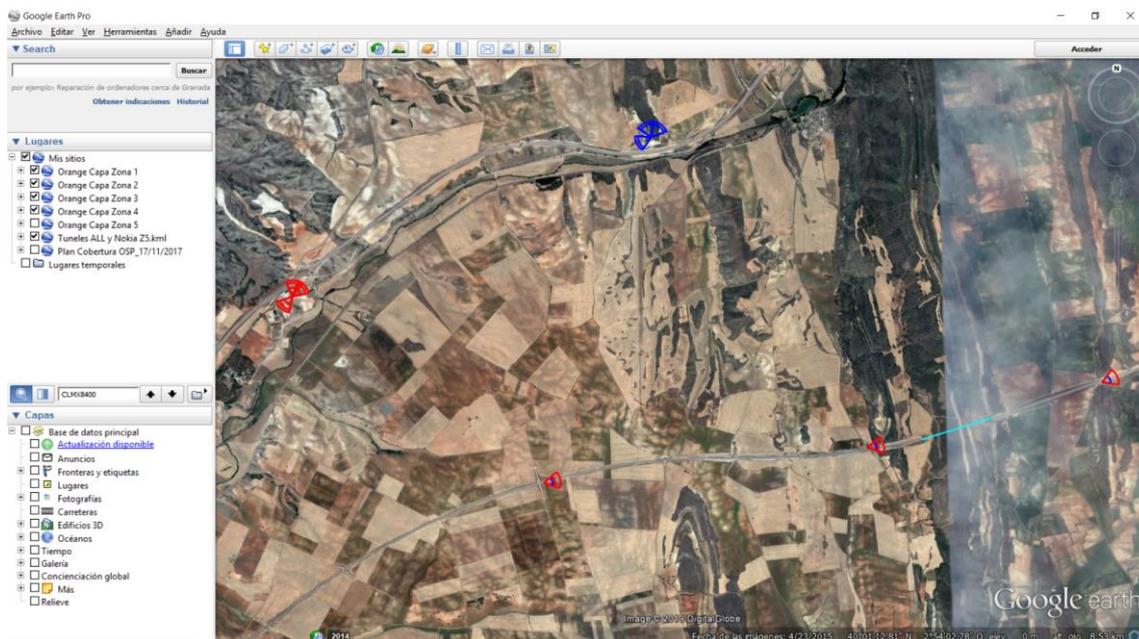


Figura 39 - Ejemplo de zona rural con pocos nodos

En el ejemplo de la Figura 39 sería conveniente utilizar el tanteo, ya que simplemente comprobando indisponibilidades de los 5 nodos señalados en MAQA, cubriríamos toda la zona, y sería mucho más rápido que utilizar el segundo método.

Este segundo método sería el recomendado en caso de tener un nodo en zonas urbanas y/o con muchos nodos vecinos, y no sea viable comprobarlos todos, como sería el caso de la Figura 40.

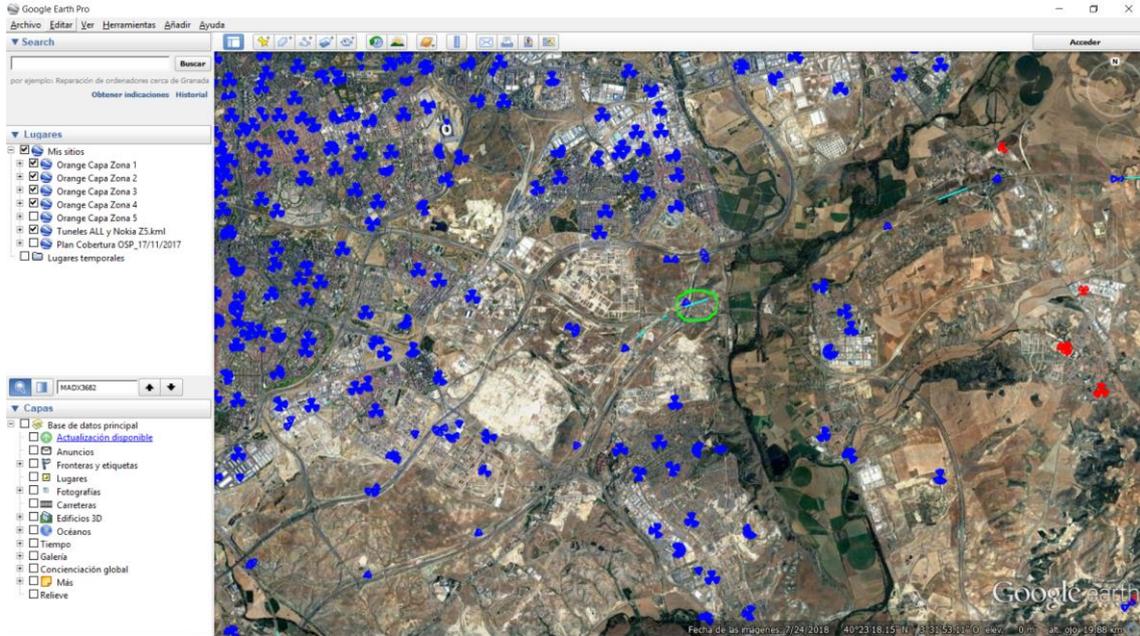


Figura 40 - Ejemplo de zona urbana con muchos nodos

El nodo señalado en la Figura 40 es el mismo de la Figura 31, el cual tiene un aumento de tráfico de 10.00 a 11.00 el 2 de enero. Por tanto, deberemos buscar el origen de este pico de tráfico, por ejemplo, un nodo vecino que tuviera una indisponibilidad de 10.00 a 11.00 el 2 de enero. Al no ser viable comprobar todos los nodos vecinos ya que estamos en una zona urbana con gran densidad de nodos, deberemos utilizar una manera más sistemática para acotar la zona de comprobación.

Como ya se ha comentado, los alcances, basados en los parámetros de *timing advance*, dan información acerca de la distancia a la cual se encuentran los usuarios al conectarse a la celda. Por tanto, es posible que, comprobando los alcances, se vea un aumento inusual de muestras de usuarios a cierta distancia.

X3682B1A

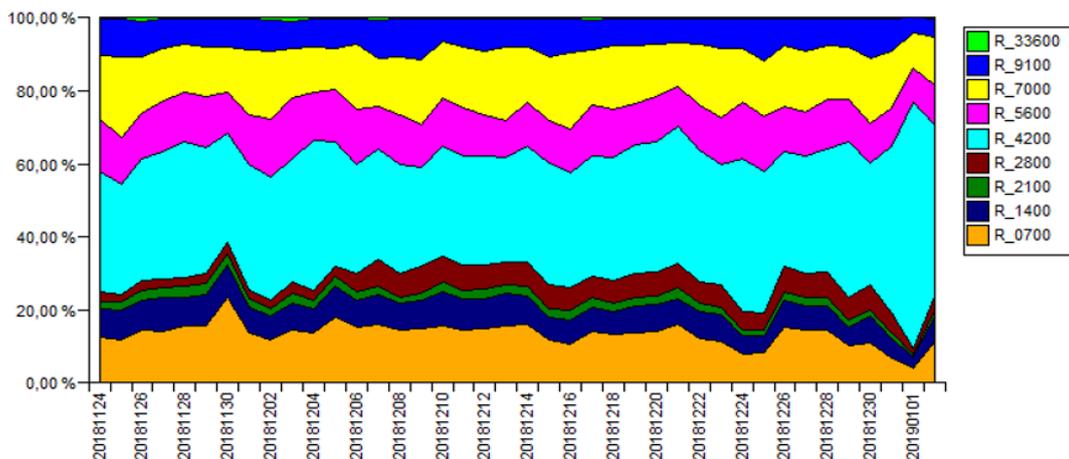


Figura 41– Datos de alcances en BBOO de X3682B1A

Como se observa en la Figura 41, en X3682B1A, donde se ha detectado el aumento de caídas asociado a aumento puntual de tráfico, los días 1 y 2 de enero hay un cierto cambio de alcances, donde se obtienen más muestras de entre 2800 y 4200 metros de distancia. Por tanto, podemos deducir que este aumento de tráfico inusual proviene de un nodo que se encuentra

aproximadamente a esta distancia. De esta forma, podemos acotar la zona donde buscar el origen de este tráfico. El por qué también cambian los alcances el día 1, se puede observar también en la Figura 42, donde se comprueba que el día 1 también hubo un aumento de conexiones RRC entre las 00.00 y las 03.00 horas que causó degradación.

5 Agrupar NodoB y Hora			Nodo	Fecha	Actualizar	RAB_CS		RRC_DROP		RAB_PS		CSSR		New_CSSR		RRC_CS		RRC_PS		RAB_VOZ		RAB_PS		Dispo		HS				
Día	Hora	RNC	Celular	RAB_CS	RRC_DROP	Col	Neig	Soft	RAB_PS	CSSR	New_CSSR	RRC_CS	RRC_PS	RAB_VOZ	RAB_PS	Dispo	HS	Fail	%Sum	Fail	%Sum	Down	Att	Fail	%Sum	Down	Att	Fail	%Sum	
0101	0000		3682B1	1.97	2	0	0	1347	9.96	87.44	116.75	68.07	22.32	471	7	98.51	17716	14666	17.22	699	291	58.31	3632	100	97.25	0	0	3590	112	96.88
0101	0100		3682B1	7	2.36	0	0	1898	9.33	87.83	113.78	91.59	44.80	168	3	98.21	13459	8847	34.27	331	35	89.43	4915	71	98.56	0	0	4908	118	97.60
0101	0200		3682B1	2	0.99	0	0	1968	7.71	98.06	78.23	98.46	78.11	68	0	100	6668	1385	79.23	206	4	98.06	5455	69	98.74	0	0	5447	74	98.64
0101	0300		3682B1	2	1.18	0	0	780	4.03	100	95.90	100	97.41	49	0	100	3259	96	97.05	169	0	100	3380	40	98.82	0	0	3380	40	98.82
0101	0400		3682B1	1	0.72	0	0	519	3.29	100	97.28	100	99.34	41	0	100	2378	34	98.57	138	0	100	2518	33	98.69	0	0	2517	32	98.72
0101	0500		3682B1	0	0.00	0	0	267	2.39	100	98.08	100	99.63	39	0	100	1507	15	99.00	158	0	100	1513	14	99.07	0	0	1513	14	99.07
0101	0600		3682B1	0	0.00	0	0	108	1.10	93.75	98.93	97.83	99.80	16	1	93.75	1053	7	99.34	57	0	100	977	4	99.59	0	0	977	4	99.59
0101	0700		3682B1	0	0.00	0	0	78	0.90	100	97.85	100	99.75	25	0	100	804	2	99.75	73	0	100	790	15	98.10	0	0	790	15	98.10
0101	0800		3682B1	0	0.00	0	0	121	1.29	100	95.33	100	99.53	25	0	100	886	18	97.97	47	0	100	854	23	97.31	0	0	854	23	97.31
0101	0900		3682B1	0	0.00	0	0	111	1.21	100	99.05	100	99.72	28	0	100	1108	2	99.82	45	0	100	1037	8	99.23	0	0	1037	8	99.23
0101	1000		3682B1	0	0.00	0	0	156	1.37	99.05	98.97	99.34	99.75	51	0	100	1306	8	99.39	105	1	99.05	1417	6	99.58	0	0	1417	6	99.58
0101	1100		3682B1	0	0.00	0	0	160	1.47	100	98.17	100	99.52	74	0	100	1402	13	99.07	150	0	100	1425	13	99.09	0	0	1425	13	99.09
0101	1200		3682B1	0	0.00	0	0	105	2.00	100	95.66	100	98.48	40	0	100	744	24	96.77	75	0	100	784	9	98.85	0	0	784	9	98.85
0101	1300		3682B1	1	0.87	0	0	112	1.94	99.14	97.81	99.29	99.42	36	0	100	1010	12	98.81	116	1	99.14	992	10	98.99	0	0	992	10	98.99
0101	1400		3682B1	2	2.28	0	0	128	2.12	100	98.40	100	99.46	28	0	100	918	11	98.80	74	0	100	994	4	99.60	0	0	993	4	99.60
0101	1500		3682B1	0	0.00	0	0	124	2.36	100	95.98	100	98.75	39	0	100	759	13	98.29	66	0	100	809	19	97.85	0	0	809	20	97.53
0101	1600		3682B1	0	0.00	0	0	121	2.32	100	95.72	100	98.90	20	0	100	777	17	97.81	58	0	100	843	18	97.86	0	0	842	17	97.98
0101	1700		3682B1	1	2.00	1	0	126	2.13	100	97.28	100	97.43	17	0	100	974	20	97.95	50	0	100	1023	7	99.32	0	0	1023	7	99.32
0101	1800		3682B1	2	2.56	0	0	172	2.99	100	96.77	100	98.82	37	0	100	1011	21	97.92	78	0	100	1113	13	98.83	0	0	1113	13	98.83
0101	1900		3682B1	3	3.70	0	0	160	2.78	98.78	93.89	99.09	99.28	31	0	100	995	56	94.37	82	1	98.78	1078	10	99.07	0	0	1078	11	98.98
0101	2000		3682B1	1	1.49	0	0	93	1.91	100	98.41	100	99.39	28	0	100	715	6	99.16	67	0	100	790	6	99.24	0	0	790	6	99.24
0101	2100		3682B1	1	1.11	1	0	112	2.47	84.38	97.76	96.57	98.90	32	5	84.38	775	7	99.10	90	0	100	817	11	98.65	0	0	817	11	98.65
0101	2200		3682B1	1	3.45	0	0	62	1.52	100	100	100	99.76	9	0	100	489	0	100	29	0	100	558	5	99.10	0	0	558	5	99.10
0101	2300		3682B1	0	0.00	0	0	40	1.12	100	98.55	100	99.78	4	0	100	399	3	99.25	18	0	100	423	3	99.29	0	0	423	3	99.29

Figura 42– Aumento de tráfico puntual y congestión asociada observados en MAQA

Una vez comprobados los alcances y acotada la distancia de procedencia aproximada de este tráfico, se procede a acotar la dirección donde buscar el nodo caído. Para esto, se puede utilizar directamente la orientación dibujada en la capa de Google Earth, o, en caso de querer ser más exacto, la orientación de la antena especificada en el CAP. El CAP es una especie de datasheet del nodo, donde se especifican componentes, configuraciones, cableado, etc. además de los trabajos planificados a realizar en el nodo. Así pues, la Figura 43 muestra la información de la orientación del sector en cuestión en el CAP del nodo.

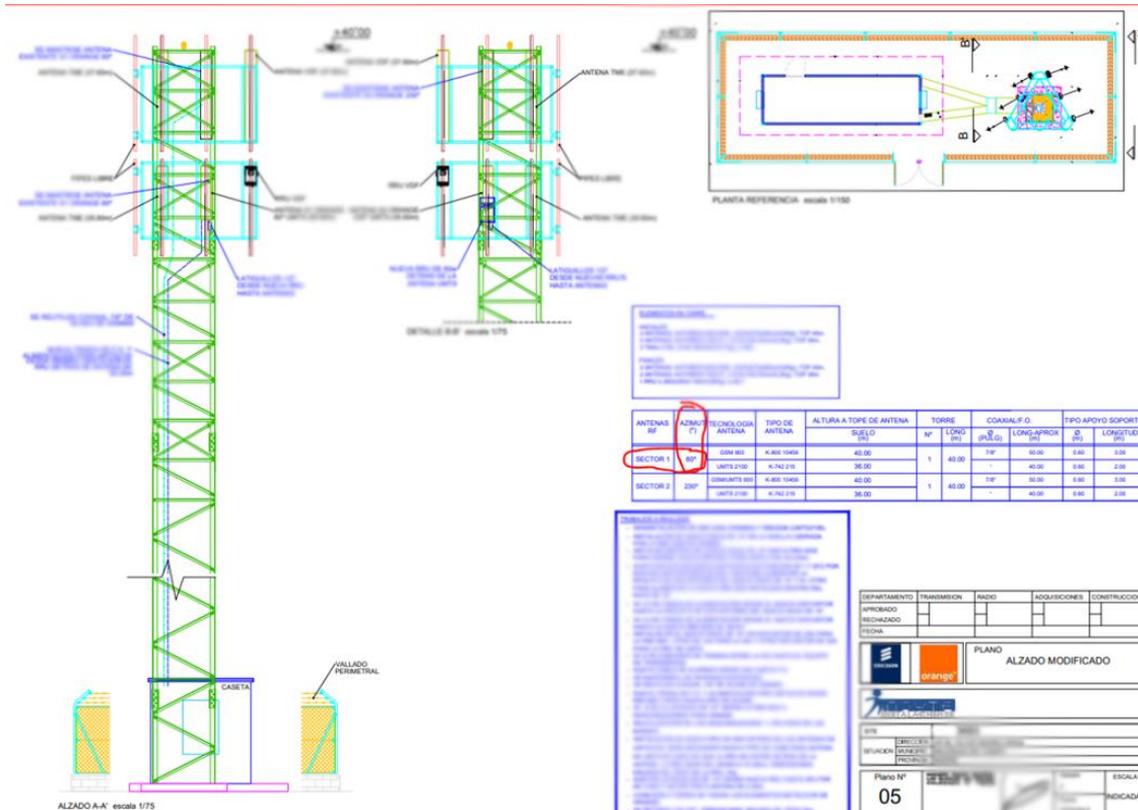


Figura 43 - CAP de X3682

Así pues, vemos que viene especificado que el sector en cuestión está orientado a 60° (midiendo siempre desde el norte y en sentido de las agujas del reloj). En el mismo CAP se obtiene también que el FWHM es de 30° . Con estos datos, se puede trazar un área de acotación y obtener una región orientativa de la procedencia de este tráfico, indicando el posible origen de la degradación a analizar.

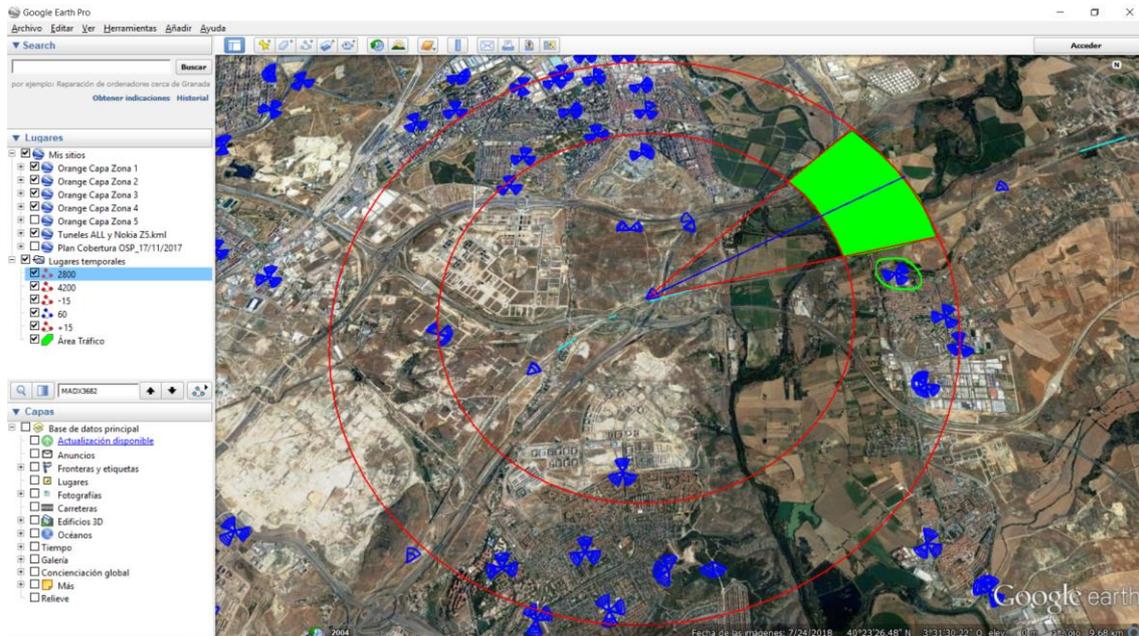


Figura 44 – Acotación de zona de búsqueda del nodo caído en Google Earth

Como se puede observar en la Figura 44, acotando el área entre 2800 y 4200 metros de distancia del nodo X3682, y la orientación a 60° , así como el ancho de haz a -3dB de la antena, los posibles nodos vecinos se reducen, siendo el más probable X1048 (en el círculo verde), y como subsecuentes opciones, el resto de nodos de esa zona, dado que el resto de nodos que rodean a X3682 ya quedarían muy alejados de la zona acotada. Tras comprobar estos nodos de la población más cercana, como se puede ver en la Figura 45, se verifica que es el nodo X1048 el que estuvo caído en el horario en cuestión, tanto el día 1 como el día 2, pudiendo correlacionar los aumentos de tráfico y degradaciones asociadas.

Tras comprobar la causa del aumento de tráfico que conllevó el aumento de caídas por congestión, faltaría investigar la causa de la indisponibilidad de X1048. En este caso, y como es de esperar, tenía una INI asociada que describía el problema, la cual venía causada por un fallo en la carga de un archivo de configuración por parte de un grupo de optimización de otro operador, y al reportar este fallo, este lo solucionó. En caso de que no hubiera una INI asociada, se debería contemplar la posibilidad de abrirla, según el caso (reincidencia, permanencia de la indisponibilidad, etc.).

Dia		Hora	RNC	Celda	RAB_CS	RRC_DROP	RAB_PS	CSRR	New_CSRR	RRC_CS	RRC_PS	RAB_VOZ	RAB_PS	Dispo	HS																	
Drop	%Drop	Col	Neig	Sotro	%Drop	%VOZ	%PS	%CS	%PS	Att	Fail	%Suc	Att	Fail	%Suc																	
0102	0900	1048B1	0	0,00	0	0	0	7	0,81	100	98,96	100	99,72	7	0	100	124	0	100	8	0	100	96	1	98,96							
0102	0900	1048B2	0	0,00	0	0	0	10	0,40	100	100	99,96	58	0	100	232	0	100	70	0	100	212	0	100	0	212	0	100				
0102	0900	1048B3	0	0,00	0	0	0	8	1,86	100	100	100	0	0	100	57	0	100	8	0	100	88	0	100	0	88	0	100				
0102	0900	1048C1	0	0,00	0	0	0	11	1,21	100	99,33	100	99,89	10	0	100	149	1	99,33	19	0	100	118	0	100	0	118	0	100			
0102	0900	1048C2	0	0,00	0	0	0	15	0,49	98,98	98,87	99,11	99,83	98	1	98,98	448	1	99,78	103	0	100	328	3	99,09	0	328	3	99,09			
0102	0900	1048C3	0	0,00	0	0	0	9	2,05	100	97,01	100	99,51	5	0	100	67	2	97,01	3	0	100	102	0	100	0	102	0	100			
0102	0900	1048F1	0	0,00	0	0	0	15	1,40	99,22	99,62	99,22	99,80	113	0	100	266	1	99,62	128	1	99,22	334	0	100	0	334	0	100			
0102	0900	1048F2	0	0,00	0	0	0	16	1,41	100	99,72	100	99,90	261	0	100	279	0	100	276	0	100	360	1	99,72	0	360	1	99,72			
0102	0900	1048F3	0	0,00	0	0	0	76	3,24	99,38	98,77	99,39	99,36	123	0	100	670	6	99,10	160	1	99,38	911	3	99,67	0	911	3	99,67			
0102	1000	1048B1	0	0,00	0	0	0	3	1,04	100	100	100	5	0	100	45	0	100	8	0	100	30	0	100	0	2247	30	0	100			
0102	1000	1048B2	1	2,38	0	0	0	11	1,02	100	100	100	33	0	100	111	0	100	42	0	100	73	0	100	0	2247	73	0	100			
0102	1000	1048B3	2	200,00	0	0	0	1	7	3,43	86,36	100	98,43	0	0	100	18	0	100	1	0	100	22	3	86,36	0	2247	20	1	95,00		
0102	1000	1048C1	1	9,09	0	0	0	5	1,80	100	100	100	7	0	100	72	0	100	11	0	100	42	0	100	0	2247	42	0	100			
0102	1000	1048C2	2	5,00	0	0	1	8	0,64	100	100	100	34	0	100	161	0	100	40	0	100	148	0	100	0	2247	148	0	100			
0102	1000	1048C3	0	0,00	0	0	0	3	2,80	100	95,24	100	98,93	6	0	100	19	0	100	7	0	100	21	1	95,24	0	2247	21	1	95,24		
0102	1000	1048F1	4	6,25	1	0	0	7	1,93	100	100	99,71	53	0	100	94	0	100	64	0	100	111	0	100	0	2247	111	0	100			
0102	1000	1048F2	9	9,52	0	0	0	9	1,73	100	100	100	165	0	100	140	0	100	163	0	100	195	0	100	0	2247	195	0	100			
0102	1000	1048F3	5	6,58	0	0	0	43	4,27	97,44	98,45	97,78	99,41	61	0	100	253	1	99,60	78	2	97,44	347	4	98,85	0	2247	347	4	98,85		
0102	1100	1048B1	0	0,00	0	0	0	13	2,08	100	99,15	100	99,67	10	0	100	105	0	100	18	0	100	118	1	99,15	0	1256	118	1	99,15		
0102	1100	1048B2	0	0,00	0	0	0	19	0,83	100	98,66	100	99,85	59	0	100	222	0	100	91	0	100	224	3	98,66	0	1257	224	3	98,66		
0102	1100	1048B3	0	0,00	0	0	0	8	1,72	100	97,96	100	99,76	1	0	100	49	1	97,96	15	0	100	85	0	100	0	1257	85	0	100		
0102	1100	1048C1	0	0,00	0	0	0	16	2,57	100	97,77	100	99,50	13	0	100	130	1	99,23	19	0	100	136	2	98,53	0	1256	136	2	98,53		
0102	1100	1048C2	2	1,69	2	0	0	26	1,21	99,16	99,12	99,63	99,80	93	0	100	237	1	99,58	119	1	99,16	218	1	99,54	0	1257	218	1	99,54		
0102	1100	1048C3	0	0,00	0	0	0	3	1,00	100	116,67	100	100	6	0	100	50	0	100	6	0	100	66	0	100	0	1257	66	0	100		
0102	1100	1048F1	0	0,00	0	0	0	16	1,79	100	100	99,88	111	0	100	264	0	100	115	0	100	313	0	100	0	1205	313	0	100			
0102	1100	1048F2	1	0,29	1	0	1	27	1,79	100	99,28	100	99,74	355	0	100	414	3	99,28	350	0	100	530	0	100	0	1210	530	0	100		
0102	1100	1048F3	1	0,54	1	0	0	51	2,89	99,47	99,59	99,47	99,42	159	0	100	488	2	99,59	187	1	99,47	713	0	100	0	1210	713	0	100		
0102	1200	1048B1	0	0,00	0	0	0	8	0,76	100	99,31	100	99,90	21	0	100	145	1	99,31	35	0	100	152	0	100	0	152	0	100			
0102	1200	1048B2	0	0,00	0	0	0	50	1,41	98,82	97,67	99,08	99,65	90	0	100	377	0	100	170	2	98,82	343	8	97,67	0	343	8	97,67			
0102	1200	1048B3	0	0,00	0	0	0	15	2,63	100	100	100	99,80	10	0	100	70	0	100	18	0	100	126	0	100	0	126	0	100			
0102	1200	1048C1	0	0,00	0	0	0	8	0,92	100	99,36	100	99,89	22	0	100	157	1	99,36	35	0	100	140	0	100	0	140	0	100			
0102	1200	1048C2	0	0,00	0	0	0	35	0,83	99,55	99,79	99,73	99,92	126	0	100	503	0	100	222	1	99,55	474	1	99,79	0	474	1	99,79			
0102	1200	1048C3	1	7,69	0	0	0	12	2,27	100	100	99,94	148	0	100	90	0	100	13	0	100	129	0	100	0	129	0	100	0	129	0	100
0102	1200	1048F1	0	0,00	0	0	0	32	2,50	100	98,53	100	99,23	148	0	100	305	3	99,02	176	0	100	410	2	99,51	0	410	2	99,51			

Figura 45 - Indisponibilidades de X1048 en el horario clave

3.5.2.2 CASO 2: Aumento de caídas por fallos de HO a vecina por RSSI

En este caso, se detectó un aumento de caídas de tipo ERAB Release Abnormal MME Act en el S2 de LTE1800 del nodo AVE, X5012.

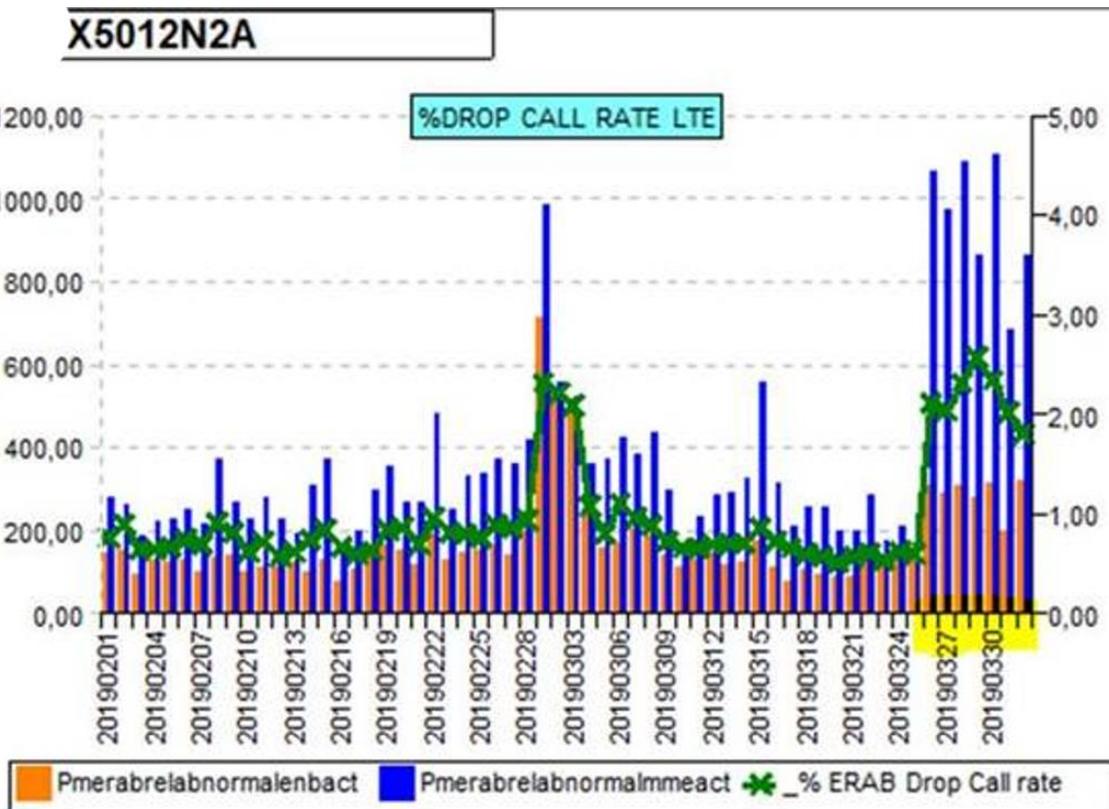


Figura 46 - Degradación por caídas ERAB MME

Para ahorrar tiempo, resumiendo, tras un análisis exhaustivo, no se encuentra origen a esta degradación en los marcadores habituales, ya que no se encuentran aumentos de tráfico, indisponibilidades, RSSI, cambios de alcance, ni cambios en parametrización asociados.

Tras un análisis más profundo, al obtener los datos de los HO, se observa que se reduce el porcentaje de éxito de estos hacia la celda vecina X3041N2A (celda no AVE) al 10% (Figura 47), coincidiendo con el inicio de la degradación por caídas.

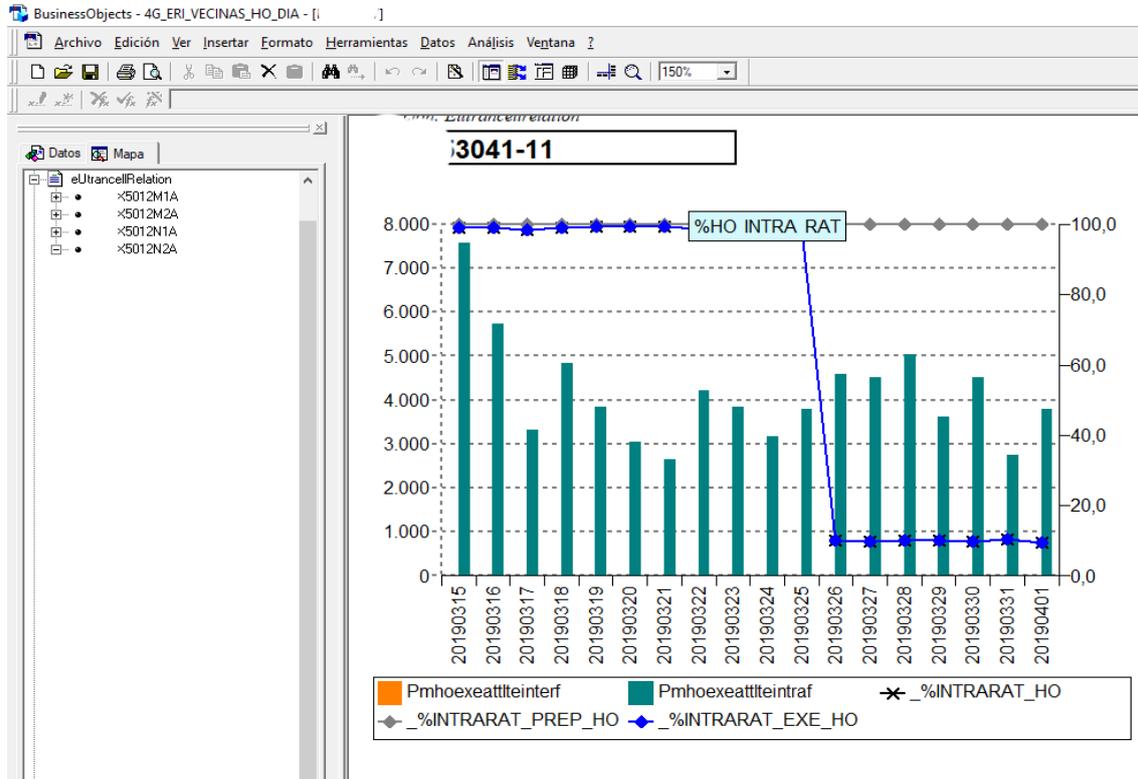


Figura 47- Fallos de HO a celda vecina

Así pues, se procede a investigar el origen de este fallo del 90% de los HO a esta celda. Tras analizarla, se observa un aumento de RSSI, llegando a -110 dBm en PUSCH y -105 dBm en PUCCH, también desde el día de la degradación, como se observa en la Figura 48.

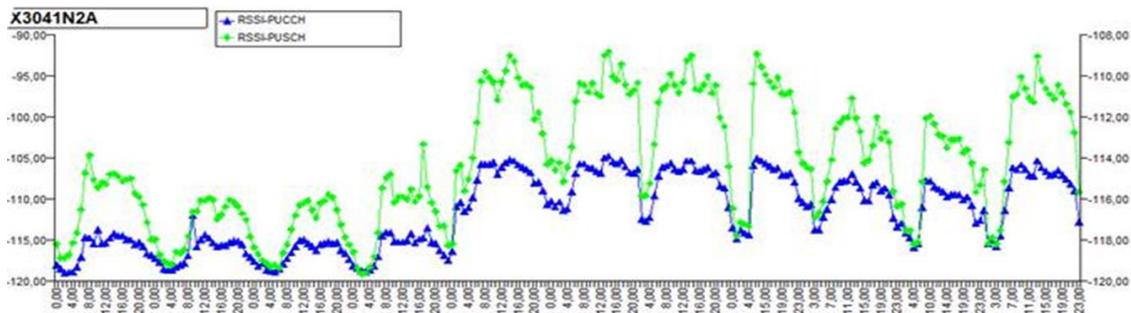


Figura 48 - RSSI de celda vecina

Se observa el mismo aumento de ruido en los 3 sectores de LTE1800 de X3041, pero no en las celdas vecinas. Se observa también una disminución en la tasa de éxito de HO hacia esta celda en el resto de vecinas de la zona. Así pues, se observa una clara correlación entre estos 2 fenómenos. El aumento de RSSI en X3041 causa que, al intentar hacer HO hacia esta, las llamadas caigan debido a la interferencia. De esta forma, se informa a zona y se abre caso al grupo de RSSI correspondiente para su solución. Los resultados tras solucionar el alto RSSI se comentan de forma breve en el apartado de medidas correctoras y resultados.

3.5.2.3 CASO 3: Pérdida de datos por sincronización de fecha y hora

Se observa una gran bajada de tráfico en el nodo LTE X3401. Tras estudiar la parametrización, y no observar indisponibilidades, se intenta buscar el nodo en MAQA, pero no se encuentran datos a partir de las 19.00 horas del día anterior a la bajada de tráfico, por lo que se intuye una posible desinstalación o apagado del nodo. Se comprueban las alarmas, y se observa que, además de que el nodo está encendido y radiando, está alarmado por fallo de sincronización de fecha y hora desde el momento en que empezó la degradación.

```
2019-04-11 11:41:29 M NTP System Time Sync Fault TimeSetting-1 (NTP sync alarm Message: NTP general problem)
>>> Total: 2 Alarms (0 Critical, 1 Major)
```

Figura 49 - Alarma de fecha y hora

Esto no se trata de un problema de sincronismo, sino que, internamente, la fecha y la hora del nodo es incorrecta. Esto causa que se reporten los datos en la fecha y la hora equivocadas, por lo que al intentar obtener los datos del 14/04 no se encuentran, al haberse computado estos datos del 14/04 en otra fecha y hora incorrectas. Tras informar a zona y configurar la fecha y hora correctas, se recuperan los datos.

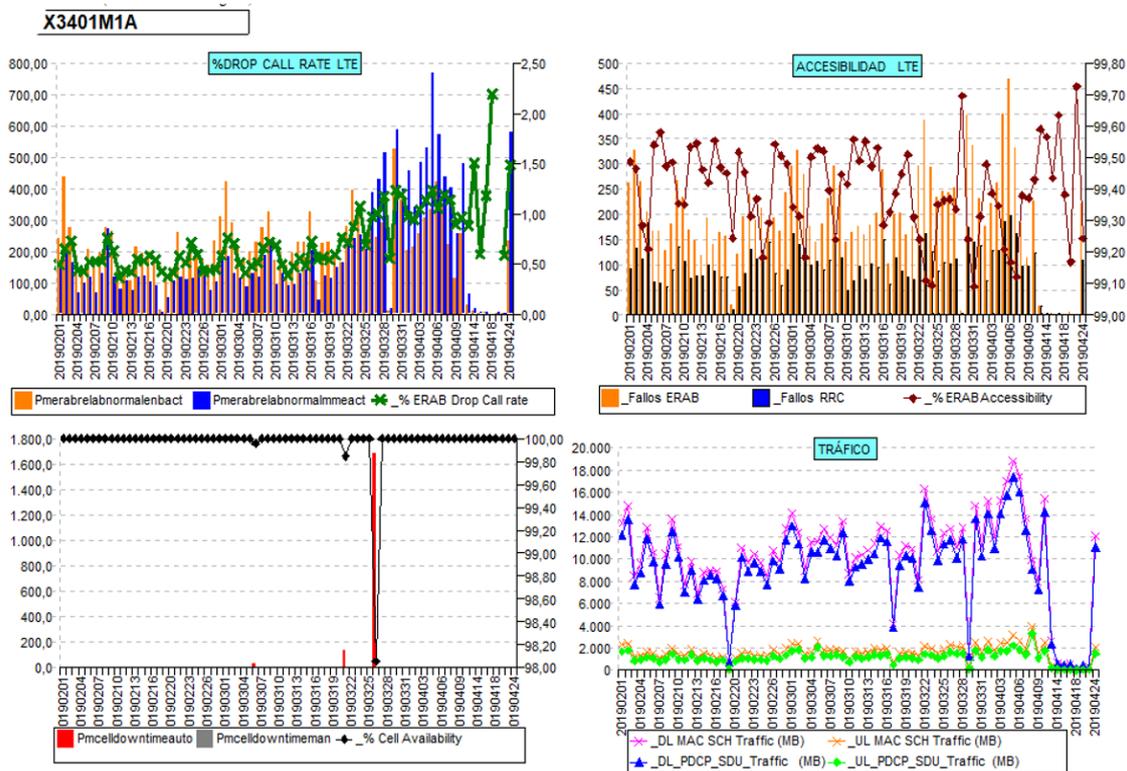


Figura 50 - Resultados tras resolución de sincronismo fecha y hora

Como se puede observar en la Figura 50, Entre el 14 y el 23/04, no se obtienen datos de caídas, fallos ni tráfico, y a partir del 24/04, cuando se realiza la corrección, se recupera la configuración de fecha y hora y se vuelven a reportar datos en la fecha correcta, por lo que vuelve al comportamiento habitual.

3.5.2.4 CASO 4: Sectores cruzados

En este caso se detectó un aumento de caídas en el S2 de LTE800, como se observa en la Figura 51.

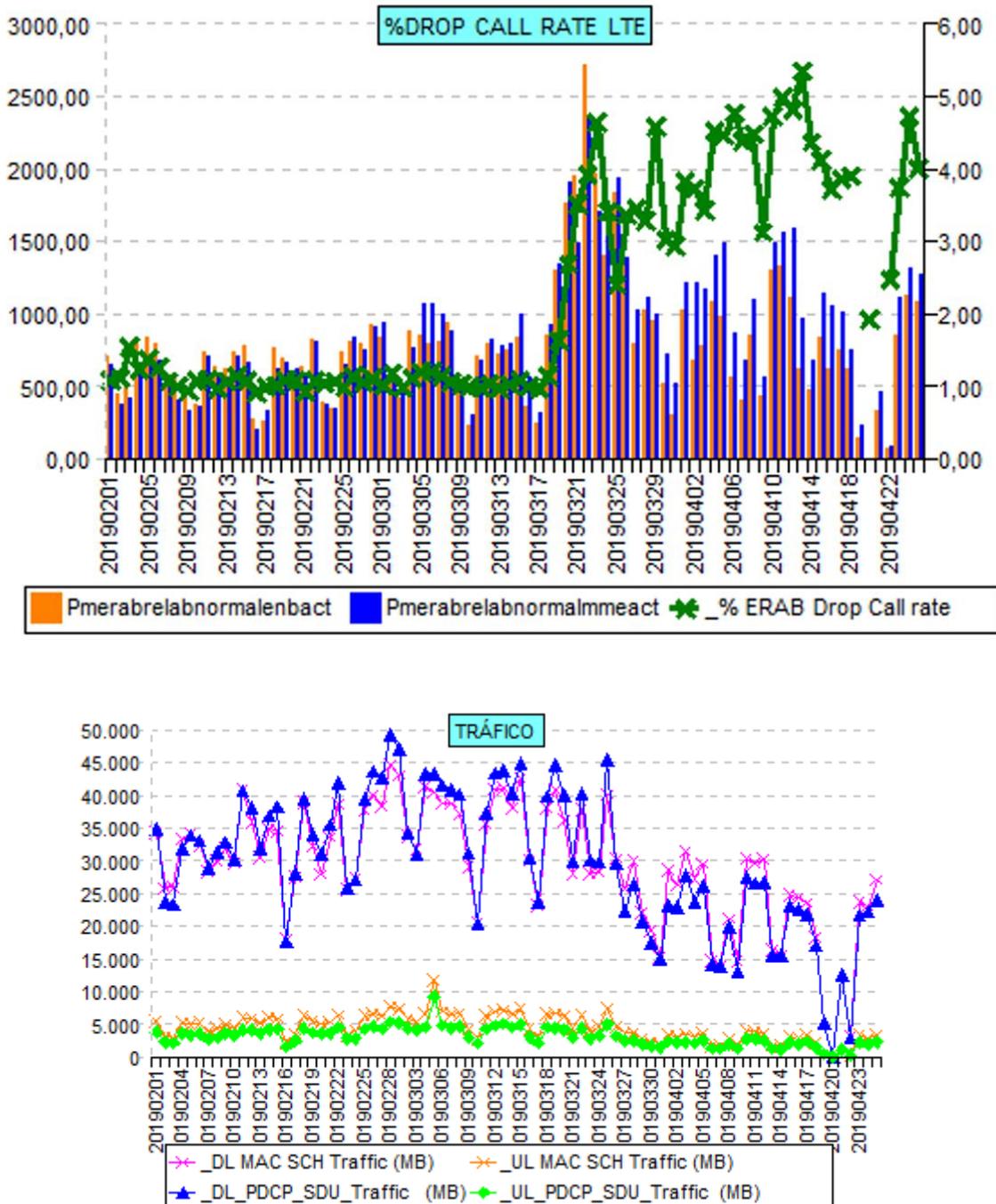


Figura 51 - Degradación y disminución de tráfico en S2

También se puede observar que no aumenta el tráfico, más bien baja desde el día del inicio de la degradación. Se comprueba que ni la celda ni las vecinas tienen ruido. La tasa de éxito de HO tampoco cambió tras la degradación. Tras comprobar las vecinas, no se encuentra ningún nodo caído. Se comprueban alcances, y se ve que cambian el día de la degradación, tanto en S1 como en S2, y se encuentra una correlación entre el aumento de caídas y cambio de alcance de S1 con

la disminución de caídas y cambio de alcance de S2. Parece que S1 y S2 se intercambian los valores de alcance, caídas, y tráfico.

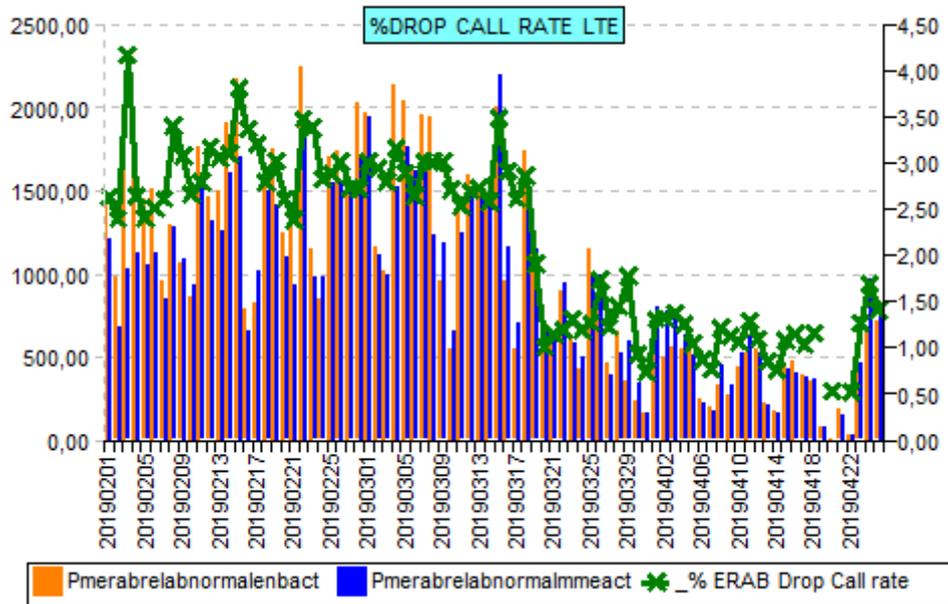


Figura 52- Degradación y disminución de tráfico en S1

Tras comprobar los HO a las vecinas y la orientación de los sectores en el CAP, vemos que, antes de la presunta degradación, S1 estaba realizando gran cantidad de HO a celdas a las que se suponía que no apuntaba y que, tras el inicio de la presunta degradación, deja de realizar intentos a estas, al igual que S2.

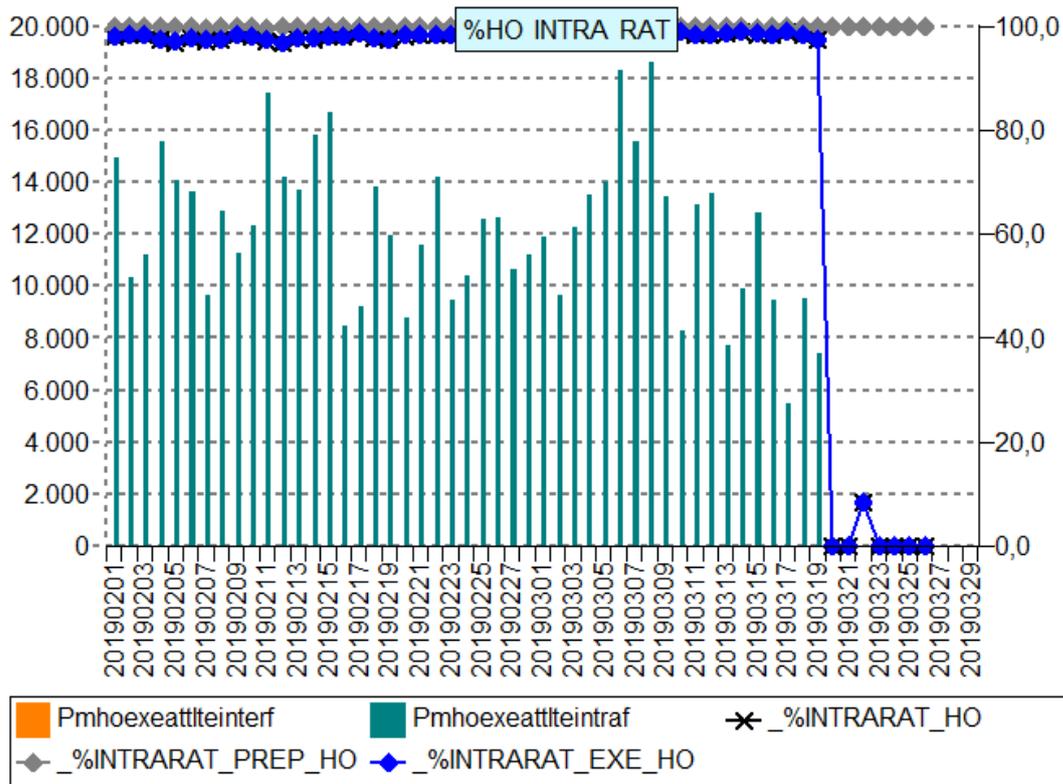


Figura 53 - Cese de HO a celda a la que no se apunta

Así pues, parece claro que se había realizado un descruce de sectores.

Es posible que, tras intervenir en local, se realice una conexión cruzada de los equipos de los sectores, de forma que se conecte el cableado de S1 donde debería conectarse el de S2, y viceversa. Esto causa que el tráfico de S1 se compute como si perteneciera a S2, y el de S2 como el de S1, obteniendo como resultado que se vean HO a celdas que no se deberían realizar dado que se está apuntando a la dirección opuesta, aunque estos tengan éxito, ya que en la realidad se están realizando a través del sector físico correcto.

Aun así, es importante realizar estos cambios de etiquetado, ya que las configuraciones también se cruzan, configurando el S2 con la configuración de S1, obteniendo resultados distintos a los esperados, y probablemente degradando todavía más el servicio. Así pues, en el caso en cuestión, se realizó un descruce de sectores interviniendo en local y cableando de forma correcta, tras lo cual S1 y S2 recuperaron sus KPIs correctos, aunque se detectó un aumento en S1 y una disminución en S2, que es el motivo de haber detectado este hecho como una degradación. Tras confirmar con el responsable de zona que se trató de un descruce de sectores, se cerró el caso sin mayor problema.

Capítulo 4. Medidas correctoras y evaluación de su impacto

4.1 Introducción

4.2 Medidas correctoras y resultados

4.2.1 Caso pool CE

Como se observa en la Figura 32 del apartado de aumento de fallos por aumento de tráfico (congestión), la celda en cuestión presenta un aumento de fallos PS por congestión de CE en DL, debido a que está cursando más tráfico del que debería ya que, tras el desmantelamiento de un nodo vecino ha absorbido gran parte del tráfico de este, degradando en PS. Dado que este tráfico debe cursarse para seguir dando servicio, un *downtilt* para bajar la cobertura en la zona del tráfico nuevo no es una opción, de forma que, como se ha indicado anteriormente, se propone parametrizar para optimizar los recursos que se tienen.

La solución propuesta es balancear el *pool* de CE. El nodo tiene unos CE que vienen dados por licencias, y dado que el problema es que no se tienen suficientes CE para dar servicio a todo el tráfico de datos, y se observa que no se tienen fallos por CE en voz de forma significativa, se propone balancear el *pool*.

En la configuración del nodo, se puede especificar como gestionar el conjunto de CE disponibles, o, dicho de otra forma, el *pool* de CE. En esta configuración, se puede establecer si se le quiere dar más prioridad a los datos o a la voz. En este caso, al no tener fallos CS por congestión de CE, se propone balancear el *pool* de CE de forma que se le asignen más CE a las conexiones PS, en detrimento de las conexiones CS. En la Figura 54 se representa la evolución de este cambio. Como se puede observar, aumentan ligeramente los fallos CS y sigue habiendo fallos PS, pero estos últimos disminuyen de forma significativa, haciendo que ninguno de los dos KPIs entre en valores de degradación.

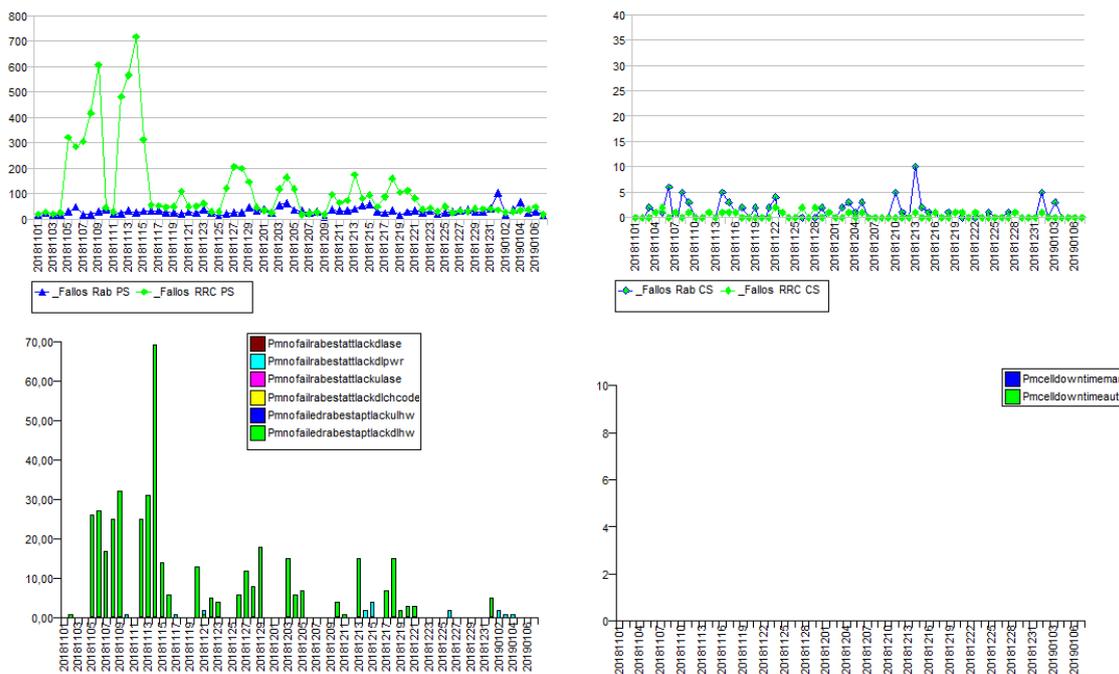


Figura 54 Evolución de fallos después de los cambios

La solución ideal hubiera sido desplegar un nuevo nodo, cambiar el hardware de este nodo por otro con RRUs y controladoras más potentes, o nuevas licencias de CE, pero esto no siempre es posible, y menos en zonas en las que se tiene previsto el despliegue de LTE, tras el cual el tráfico en 3G bajará, y solucionará estos problemas sin necesidad de aumentar infraestructura. Así pues, normalmente en estos casos se decide optimizar para paliar los efectos adversos, por lo menos hasta el nuevo despliegue previsto.

4.2.2 Caso licencias CE

En este caso, se observa un aumento de fallos RRC PS por CE. No se encuentra aumento de tráfico asociado ni RTWP, aunque sí unas indisponibilidades los días previos a la degradación, por lo que se comprueban trabajos en el nodo que pudieran correlacionarse con estas indisponibilidades, y pudieran suponer cambios en el nodo que causen esta degradación.

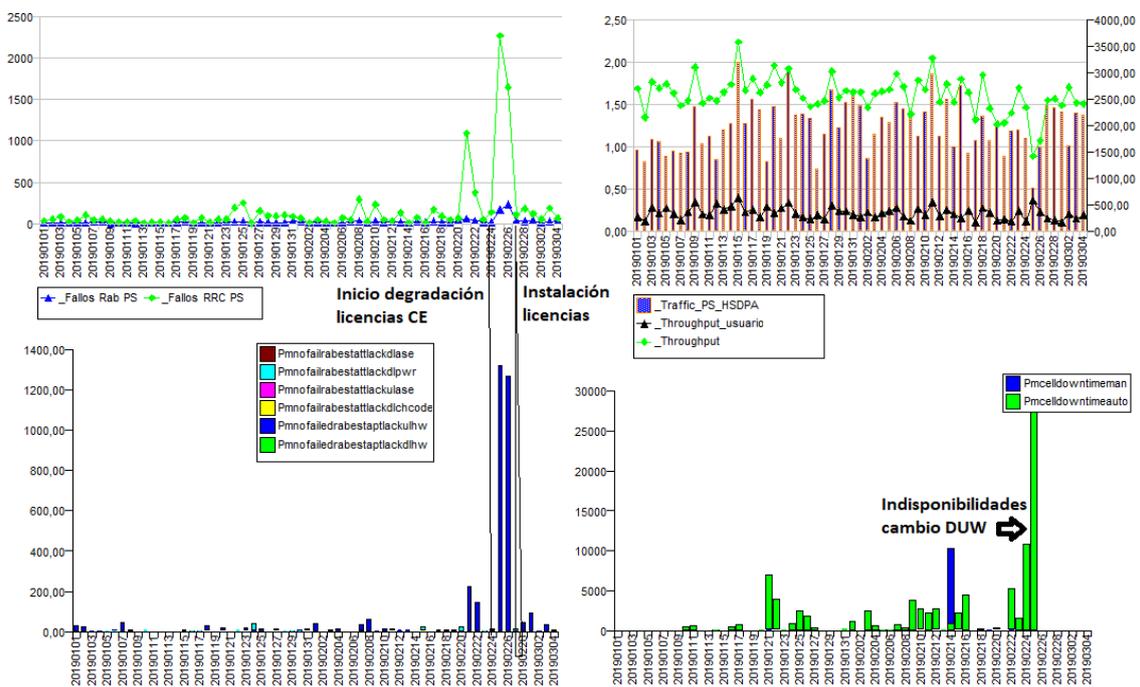


Figura 55– Reducción de la degradación tras la instalación de licencias CE

Se encuentra una WO en la que se describe un cambio de DUW, y tras comprobar alarmas, se encuentra que está alarmado por falta de licencias de CE. Tras contactar con el responsable de zona, se asignó al grupo responsable del cambio de DUW, y tras ver que no se habían instalado las licencias tras el cambio de DUW, se procedió a instalarlas, tras lo cual, como se observa en la Figura 55, desaparecen los fallos por CE.

4.2.3 Caso de recarga del nodo (último recurso)

En este caso, se detectó un gran aumento de caídas en el nodo 3G, pasando de tener un 1% de DCR PS, a tener entorno al 50%. Esto pasó de forma intermitente en varias celdas del mismo nodo.

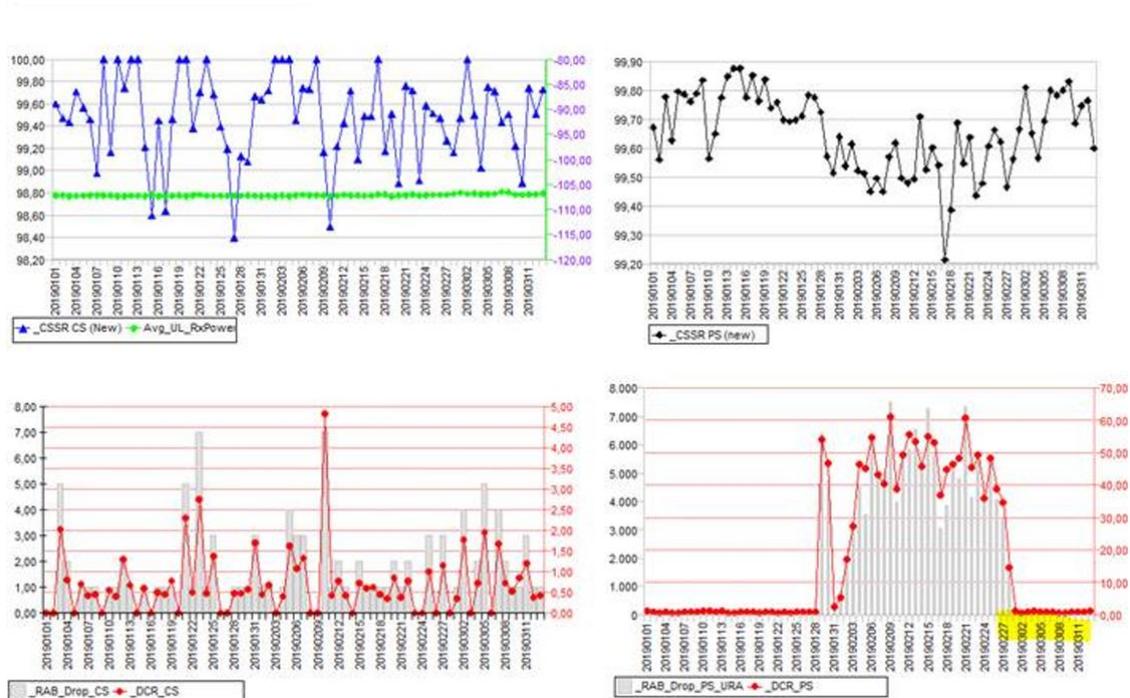


Figura 56 – Degradación y solución tras recarga

Se realizó un estudio completo. No se encontraron indisponibilidades, aumentos de tráfico, RTWP, cambio de alcances, fallos de HO *intra* o *interfrequency*, cambios en parametrización radio, ni ninguna otra causa.

Inicialmente había indicios de que la degradación podría estar relacionada con la POA de un nodo vecino con LTE de nueva integración, que podría conllevar fallos en este nodo, en caso de no estar correctamente parametrizado. Tras realizar un estudio de ambos nodos, se concluye que no existe relación entre ambos hechos, ya que, aparte de tenerse mutuamente como vecinas y no fallar los HO entre sí, no se encontró fallo en la parametrización, ni cuadraban las horas de POA e inicio de degradación.

Llegados a este punto, y debido a la duración y gravedad de la degradación (1 mes entero con un DCR PS superior al 50%) se decide utilizar “el último recurso”. Esto es, una “recarga del nodo”. Se trata de obtener y cargar una “copia de seguridad de configuración del nodo”. Los nodos van guardando periódicamente su parametrización para, en caso de errores, poder hacer *rollback*. Pero como en este caso, si se hizo una mala parametrización, o no se monitorizó posteriormente, o bien no se detectó la degradación asociada, no se realizó este *rollback*.

Por tanto, se decide realizar una recarga de esta parametrización previa a la degradación, tras la cual, como se observa en la Figura 56, desaparece esta. Esto significa, con casi total seguridad, que se trataba de una mala parametrización que no se monitorizó tras realizarla. Se informó a zona de la solución de la degradación y se cerró el caso.

4.2.4 Caso de conflicto de PCIs

En este caso, se encuentra una degradación por caídas en LTE. Tras un análisis exhaustivo, no se encuentran indisponibilidades, aumentos de tráfico, RTWP, cambios en HO, parametrizaciones, eventos, etc.

Se estudia el entorno, y se encuentra un nodo vecino no perteneciente al AVE con LTE de nueva integración. Así pues, se contempla la posibilidad de que se trate de un problema con este. Tras analizarlo, se encuentra que también tiene una degradación similar. En cambio, al igual que en el

nodo AVE analizado, no se encuentra ningún indicio del origen de la degradación. Tras realizar reset a sendos nodos, se mantiene la degradación.

Se estudia un tercer nodo vecino y se encuentra que, desde este tercer nodo, están fallando los HO a los dos nodos degradados en cuestión. Sin ningún indicio más, se pasa a cruzar parámetros para buscar posibles inconsistencias respecto al *baseline* (es decir, la referencia de configuración de parámetros que viene dada por la operadora) o conflictos de algún tipo.

Tras estudiar la parametrización de estos nodos, se encuentra que ambos tienen los mismos PCIs en sus 3 sectores, de forma que los 2 sectores que comparten zona de cobertura entran en conflicto de PCIs, ya que el resto de nodos los identifican como si fueran el mismo y realizan HO de forma indistinta hacia ellos, causando las caídas. El resto también están en conflicto de PCIs pero al no compartir zona de cobertura de forma directa, no se traduce en una degradación como es este caso.



Figura 57 – Zona de la degradación

Cell Name	Cap indicator	Uplink cyclic prefix length	Downlink cyclic prefix length	5G-10T Cell Flag	Coverage Level Type	Frequency band	Uplink EARFCN indication	Uplink EARFCN	Downlink EARFCN	Uplink bandwidth	Downlink bandwidth	Cell ID	Physical cell ID
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	237
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	245
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	253
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	261
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	269
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	277
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	285
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	293
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	301
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	309
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	317
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	325
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	333
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	341
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	349
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	357
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	365
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	373
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	381
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	389
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	397
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	405
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	413
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	421
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	429
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	437
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	445
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	453
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	461
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	469
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	477
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	485
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	493
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	501
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	509
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	517
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	525
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	533
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	541
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	549
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	557
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	565
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	573
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	581
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	589
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	597
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	605
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	613
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	621
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	629
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	637
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	645
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	653
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	661
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	669
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	677
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	685
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	693
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	701
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	709
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	717
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	725
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	733
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	741
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	749
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	757
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	765
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	773
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	781
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	789
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	797
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	805
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	813
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	821
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	829
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	837
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	845
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	853
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	861
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	869
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	877
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	885
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	893
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	901
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	909
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	917
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	925
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1000	100	933
00241M1A	Palen	Normal	Normal	Palen	WLL	1	Not configuration	WLL	1000	1000	1		

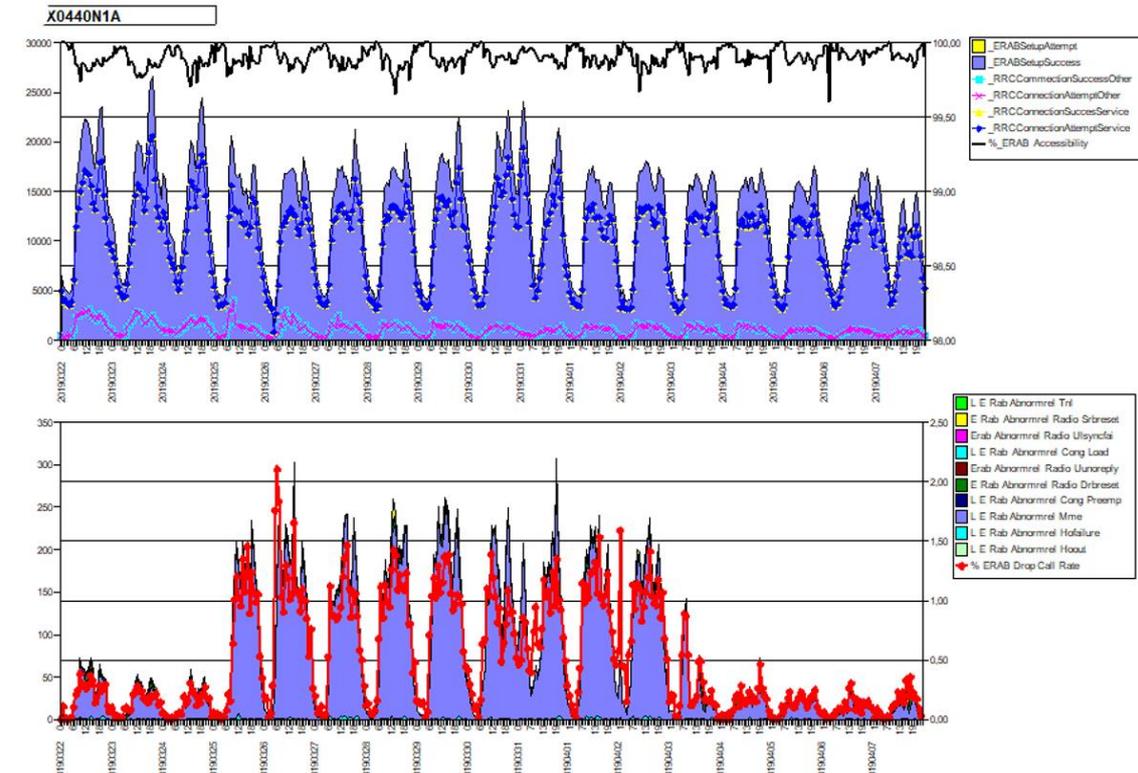


Figura 59 – Degradación y solución tras rectificar conflicto de PCIs

Tras encontrar este conflicto de PCIs, se contacta con el grupo responsable de integración para que realicen la parametrización necesaria con nuevos PCIs que no sean iguales. Tras el cambio de PCIs, como se observa en la Figura 59, desaparece la degradación, dado que se reduce el número de caídas, en este caso, de tipo MME (ERAB Abnormal Release MME).

4.2.5 Caso indisponibilidades recurrentes

En este caso, se encuentra un patrón de micro-indisponibilidades en el nodo LTE. Al no tratarse de un KPI “manejable” desde ingeniería de radio, este caso es particularmente complicado, dado que se necesita intervención en local, y para ello descartar otros motivos de degradación previamente.

Tras un análisis exhaustivo en el que, al tratarse de indisponibilidades, obviamente, no se encuentra nada asociado (ruido, HO, etc.), se consultan las alarmas activas. Se encuentra que el nodo tiene alarmas activas “*NTP Server Reachability Fault, PLMN Service Unavailable*”, es decir, que es incapaz de conectar con el servidor NTP, con lo cual tiene problemas de sincronismo horario, y que tampoco consigue conectar con la red PLMN (*Public Land Mobile Network*).

Esto en principio no debería causar indisponibilidades, ya que estas suelen ser causadas por problemas físicos (cables desconectados o defectuosos, problemas de subministro, etc.), pero es posible que el nodo tenga algún tipo de sistema de reseteo automático al presentar estas alarmas.

Al no poder intervenir directamente sobre estos, y tratarse más bien de un tema de transmisión que de radio, antes de mandar a alguien en local, se pasa el caso al grupo de Radio de Orange, el cual llega a la misma conclusión, y decide pasar el caso al grupo de Transmisión. En paralelo, por su cuenta, deciden enviar un equipo a revisar en local, el cual no encuentra nada defectuoso.

A pesar de no recibir respuesta por parte del equipo de transmisión, al cabo de unos días desaparecieron las alarmas, y cesaron las indisponibilidades definitivamente, como se observa en

la Figura 60 en la que se ve un cese de estas a partir del 08/01. Tras monitorizar durante unos días, se cerró el caso.

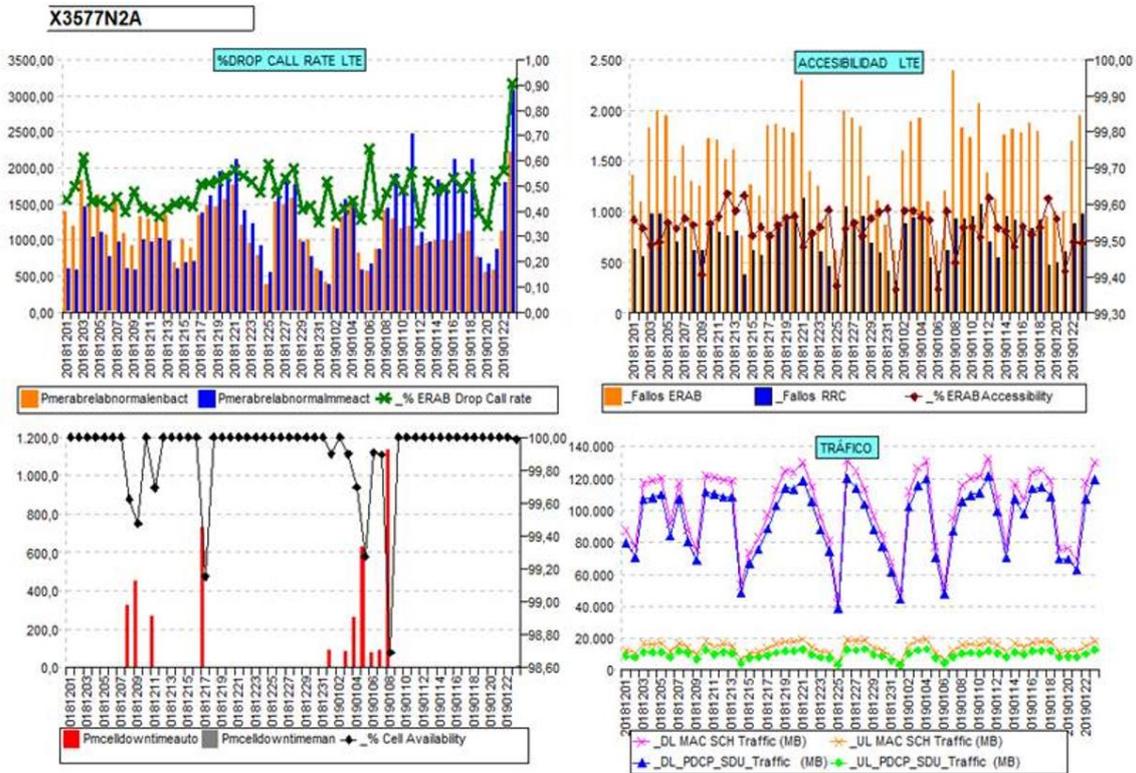


Figura 60 – Degradación y solución de indisponibilidades recurrentes

Se podría pensar que presentar este caso no es interesante para este trabajo, dado que el grupo responsable de solucionar la degradación no dio explicaciones de las acciones realizadas ni el motivo de la degradación. Pero además de ilustrar estas, este trabajo intenta mostrar la realidad del sector de la ingeniería de RF en el día a día, y este tipo de acciones “opacas” es bastante habitual, por lo que se ha decidido dejar el caso tal cual está, con la información que se tiene.

4.2.6 Caso de caídas MME por RSSI en celda vecina

El proceso de obtención del origen de la degradación se expone en el apartado de casos prácticos, concretamente en el caso 2. A continuación, se expondrán los resultados tras solucionar la problemática del RSSI por parte del grupo de ERICSSON RSSI.

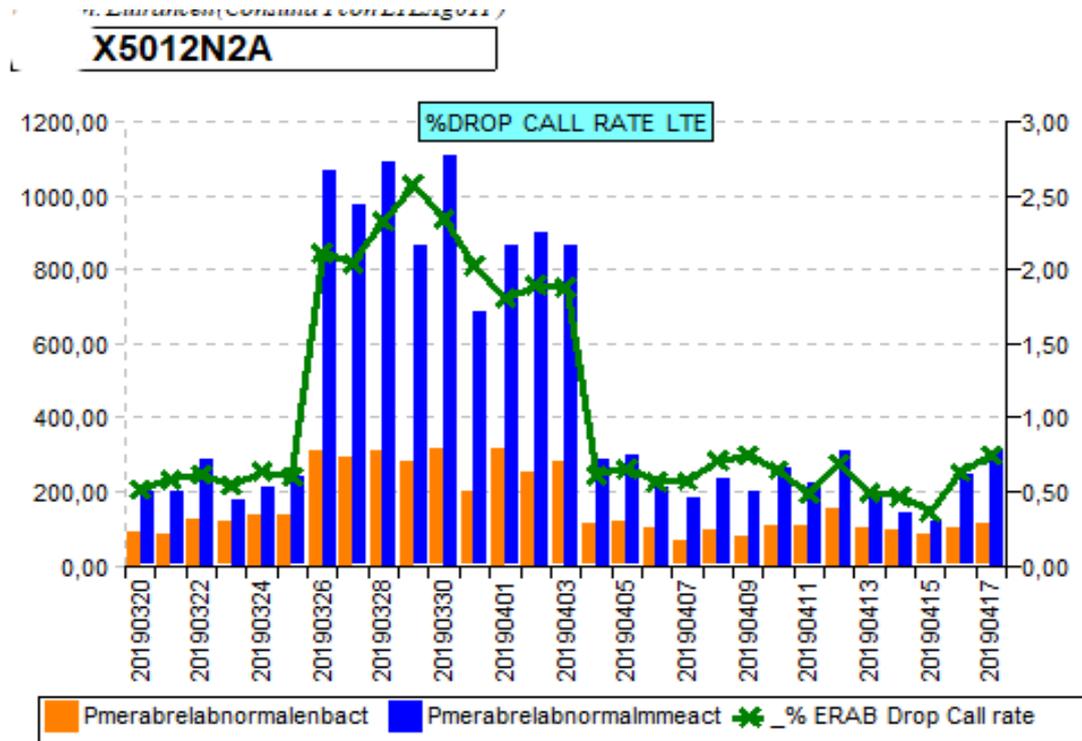


Figura 61 - Desaparición de la degradación tras solución RSSI

Como vemos, la degradación desaparece totalmente volviendo a los valores habituales, como era presumible, tras la desaparición del ruido. De nuevo, como en el caso anterior, no tenemos respuesta del grupo de RSSI, pero se trata de un caso interesante más allá de esto, más por el procedimiento mediante el cual se llegó a la conclusión de que el problema era que fallaban los HO a la celda vecina, y era interesante mostrar que, tras solucionar el RSSI (aunque no tengamos respuesta de como se realizó), efectivamente desapareció la degradación.

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras

A lo largo de este trabajo se han expuesto las técnicas y herramientas utilizadas en Arca Telecom para la detección y análisis de degradaciones en la red AVE de Orange.

No solo se ha concluido que la metodología empleada en la empresa está acorde con el estado del arte del análisis de rendimiento de redes celulares, sino que esta está adaptada al propósito particular que atañe a este trabajo, es decir, las degradadas diarias de nodos AVE.

A parte de exponer un contexto teórico en cuanto a las características principales de las tecnologías 2G, 3G y 4G, se ha mostrado, brevemente, el manejo de las herramientas más ampliamente utilizadas en el ámbito radio, como son BBOO o MAQA.

Una vez contextualizado el trabajo, se ha descrito todo el procedimiento a la hora de obtener el listado de degradaciones, descartar los falsos positivos y analizar las degradaciones reales. Y, lo que es más importante en el trabajo, las principales técnicas de análisis y correlación para obtener el origen de las degradaciones, así como su pertinente solución. Todo esto se ha ilustrado con casos prácticos, tanto de análisis de degradaciones, como de medidas correctoras y sus resultados posteriores.

Además de esto, en la medida de lo posible debido a plazos y presupuesto, se han propuesto algunas mejoras al procedimiento para agilizarlo, especialmente a la hora de descartar falsos positivos, ahorrando tiempo en esta farragosa tarea inicial, y permitiendo dedicarle más tiempo a lo realmente importante e interesante, como es el análisis de las degradaciones reales.

En cuanto a posibles líneas futuras, se podría estudiar la posibilidad de desarrollar una herramienta de correlación automática de degradaciones. A partir de una serie de casos particulares comunes, como son los expuestos en el apartado 3.5.1, crear una herramienta que, a partir de los mismos datos con los que se obtiene la lista de degradaciones, y algunos auxiliares necesarios para analizar estos casos comunes, pueda correlacionar las posibles degradaciones con sus causas.

A priori, podrían introducirse casos básicos como los de aumento de tráfico. Tras detectar un aumento de fallos por CE en el día analizado, se lanzaría la consulta de tráfico y fallos por horas, y si el aumento de fallos coincide en horario con el aumento de tráfico, la herramienta automáticamente correlacionaría la degradación y la clasificaría como aumento de tráfico.

Con esta información, se podría disponer directamente de las degradaciones clasificadas, y pasar directamente a obtener el origen en caso de ser pertinente (un nodo caído que haga que aumente el tráfico, por ejemplo), y la solución. Se podría hacer lo mismo con aumentos de caídas con aumento de RTWP asociado, o fallos de HO a cierta celda, indicando donde puede estar el problema, etc.

Obviamente esto requeriría que el ingeniero que analice las degradaciones compruebe que la correlación es correcta, especialmente en las etapas iniciales del desarrollo, pero aun así esto es mucho más rápido y directo que buscar la correlación de forma no automática.

Otra línea futura estaría relacionada con la extensión de las conclusiones de este TFM a otros escenarios de operación distintos a la línea del AVE. Algunas peculiaridades de este caso, como los valores de los umbrales de KPIs (por ejemplo, el tiempo de indisponibilidades de 5 horas diarias sería inaceptable en ciudad, mientras que el número neto de caídas sería mucho mayor en este caso), o la correlación de algunos parámetros, podrían afectar a la idoneidad de la metodología propuesta, por lo que este estudio resulta de especial interés para la empresa en caso de pretender realizar este tipo de tareas en otros ámbitos.

Por otro lado, aunque este trabajo se centra en las 3 tecnologías existentes en el momento de su realización, 2G, 3G y 4G, también se podría extrapolar a futuras tecnologías (como el inminente 5G), ya que aunque los KPIs cambien, la metodología y los sistemas de correlación, además de



la experiencia en la investigación de casos de degradaciones, son perfectamente adaptables a otras tecnologías y entornos.

Además, esto no tendría por qué limitarse a tecnologías celulares, ya que cualquier tipo de estándar de comunicaciones con capacidad de almacenar datos y disponer de estos de forma razonable para poder monitorizar la red es susceptible de poder aplicar esta metodología. Por ejemplo, en redes WIFI, si se tiene infraestructura y software para poder almacenar los paquetes perdidos, los enrutados, etc. En una base de datos que se pueda consultar y representar estos datos de forma que un ingeniero pueda interpretarlos y correlacionarlos para obtener problemas y solucionarlos, se podrían aplicar gran parte de los ejemplos ilustrados en este trabajo.

Capítulo 6. Referencias

- [1] D. M.-S. Gandía, «3GPP Long Term Evolution: Performance Analysis and Evolution towards 4G with Coordinated Multi-Point Transmission,» de *Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València*, Valencia, 2016.
- [2] A. F. Haque, «Performance Analysis of UMTS Cellular Network using Sectorization Based on Capacity and Coverage,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 2, nº 6, pp. 98-104, 2011.
- [3] M. Z. M. K. I. Bilal Haider, «Radio Frequency Optimization & QoS Evaluation in Operational GSM Network,» de *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, San Francisco, 2009.
- [4] ETSI, «Key Performance Indicators (KPI) for UMTS and GSM,» 2011.
- [5] M. Almontaser, «3G mobile service provider traffic analysis using KPIs of CSSR and,» 2014.
- [6] D. F. Mojisola, «Participatory Analysis of Cellular Network Quality of Service,» *International Journal of Computing and ICT Research*, vol. 9, nº 1, pp. 25-40, 2015.
- [7] Y. D. A. K. Rana KADIOGLU, «Quality of service assessment: a case study on performance benchmarking of cellular network operators in Turkey,» *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 1, nº 23, pp. 548-559, 2015.
- [8] J. I. Michael Atenaga, «On The Compromise between Network Performance and EndUser Satisfaction over UMTS Radio Interface: An Empirical Investigation,» *International Journal of Advanced Research in Physical Science*, vol. 1, nº 8, pp. 9-18, 2014.
- [9] Y. Ouyang y M. H. Fallah, «A PERFORMANCE ANALYSIS FOR UMTS PACKET SWITCHED NETWORK BASED ON MULTIVARIATE KPIS,» de *Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, Tampa, 2010.
- [10] Alcatel-Lucent (Sanjay Kumar/Hemal Doshi), «UMTS KPI-Optimisation and Tools,» 2008.
- [11] iTEAM, de *Máster 3GPP LTE Arca Telecom*, Madrid, 2015.
- [12] leopedrini, «telecomhall,» 04 04 2016. [En línea]. Available: <http://www.telecomhall.com/what-are-modes-states-and-transitions-in-gsm-umts-and-lte.aspx>. [Último acceso: 04 04 2019].
- [13] Alcatel-Lucent, «The LTE Network Architecture,» 2013.
- [14] Techplayon, «Techplayon,» 03 08 2017. [En línea]. Available: <http://www.techplayon.com/2411-2/>. [Último acceso: 08 03 2019].
- [15] yusufd, «slideshare,» 25 03 2013. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/yusufd/introduction-to-mobile-core-network-17667704>. [Último acceso: 21 05 2019].
- [16] electronicaml, «electronicaml,» 02 2016. [En línea]. Available: <http://electronicaml.blogspot.com/2016/02/antenas-y-lineas-de-transmission.html>. [Último acceso: 05 03 2019].



Agradecimientos

A mis tutores, Josetxo y Carlos, por haberme permitido introducirme en el mundo laboral en el área que me gusta, y al mismo tiempo realizar este trabajo acerca de mi primera experiencia en esta.

A mis errores, ya que, a pesar de todo, me han llevado donde estoy ahora.

Als meus pares, per haver-me donat totes les oportunitats i formació que han pogut, a més de, bàsicament, tot el que tinc.

I sobre tot, a Anna, per haver-me aguantat i donat suport tot aquest temps. Sense la teva paciència i comprensió, no hauria estat possible.

Gracias a todos.