

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.2101-0
(02/2017)

Modelización y simulación de redes y sistemas IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2017

© UIT 2017

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.2101-0

Modelización y simulación de redes y sistemas IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad

(2017)

Cometido

Esta Recomendación contiene la metodología para la modelización y simulación de redes IMT¹ con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad entre las IMT y otros sistemas y/o aplicaciones. Como tal, no hace ninguna suposición en cuanto a los parámetros de sistema ni a la modelización de esos otros sistemas o aplicaciones y se limita estrictamente a facilitar información para los sistemas IMT.

Palabras clave

IMT, IMT-Avanzadas, sistemas móviles, cuestiones sobre compartición y compatibilidad

Recomendaciones e Informes conexos

Recomendación UIT-R M.2012 – Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales-avanzadas (IMT-Avanzadas)

Informe UIT-R M.2292 – Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Cuestión UIT-R 229/5 trata de la futura evolución de la componente terrenal de las IMT y que el UIT-R sigue realizando los estudios correspondientes a esta Cuestión;
- b) que la Resolución **223 (Rev.CMR-15)** invita al UIT-R a realizar varios estudios sobre compatibilidad entre sistemas IMT y otros sistemas y/o aplicaciones;
- c) que la Resolución **238 (CMR-15)** resuelve invitar al UIT-R a realizar los estudios adecuados sobre compartición y compatibilidad entre sistemas IMT y otros sistemas y/o aplicaciones en varias bandas de frecuencias;
- d) que cabe esperar que se desarrollen nuevas interfaces radioeléctricas que den soporte a las nuevas capacidades de las IMT-2020, al tiempo que se mejoran los sistemas IMT-2000 e IMT-Avanzadas, en consonancia con la Resolución UIT-R 57-2;
- e) que es necesario contar con metodologías para la modelización y simulación de redes IMT a fin de analizar la compatibilidad entre los sistemas IMT y los sistemas de otros servicios;
- f) que es necesario describir de forma precisa la simulación de transmisiones en redes IMT, en particular la determinación del efecto combinado pertinente, con objeto de modelizar de forma eficaz los sistemas IMT para cada modalidad de compartición y compatibilidad,

¹ En las referencias a las IMT en la presente Recomendación se aborda la modelización de redes IMT-Avanzadas e IMT-2020.

reconociendo

- a) que en el Informe UIT-R M.2292 se proporcionan las características de los sistemas terrenales de las IMT-Avanzadas a los efectos de compartición de frecuencias/análisis de interferencias;
- b) que la Recomendación UIT-R M.2012 contiene especificaciones pormenorizadas de las interfaces radioeléctricas terrenales para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas (IMT-Avanzadas);
- c) que en las Recomendaciones UIT-R M.2070 y UIT-R M.2071 se proporcionan, respectivamente, las características genéricas de las emisiones no deseadas procedentes de estaciones de base y estaciones móviles que utilizan las interfaces radioeléctricas terrenales de las IMT-Avanzadas,

recomienda

que la modelización y simulación de redes y sistemas IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad se basen en la metodología que figura en el Anexo 1.

Lista de abreviaturas

ACIR	Relación de potencia interferente del canal adyacente (<i>adjacent channel interference power ratio</i>)
ACLR	Relación de potencia de fuga del canal adyacente (<i>adjacent channel leakage power ratio</i>)
ACS	Selectividad del canal adyacente (<i>adjacent channel selectivity</i>)
AAS	Sistema de antena avanzado (<i>advanced antenna system</i>)
BS	Estación de base (<i>base station</i>)
D2D	De dispositivo a dispositivo (<i>device-to-device</i>)
eMBB	Banda ancha móvil mejorada (<i>enhanced mobile broadband</i>)
FD	Dimensión plena (<i>full-dimension</i>)
FDR	Rechazo dependiente de la frecuencia (<i>frequency dependent rejection</i>)
HO	Traspaso (<i>handover</i>)
M2M	De máquina a máquina (<i>machine-to-machine</i>)
MTC	Comunicaciones de tipo máquina (<i>machine-type communications</i>)
mMTC	Comunicaciones masivas tipo máquina (<i>massive machine-type communications</i>)
MIMO	Entrada múltiple y salida múltiple (<i>multiple input multiple output</i>)
MBB	Servicio móvil de banda ancha (<i>mobile broadband</i>)
OOB	Fuera de banda (<i>out-of-band</i>)
OOBE	Emisión fuera de banda (<i>out-of-band emission</i>)
RB	Bloque de recursos (<i>resource block</i>)
RF	Frecuencia radioeléctrica (<i>radio frequency</i>)
UE	Equipo de usuario (<i>user equipment</i>)
URLLC	Comunicaciones de alta fiabilidad y baja latencia (<i>ultra-reliable and low latency communications</i>)

Anexo 1

Metodología para la modelización y simulación de redes IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad

	Página
Anexo 1	3
1 Introducción.....	4
2 Definiciones y conceptos fundamentales	4
2.1 Modalidades de utilización	4
2.2 Modalidades de despliegue.....	5
2.3 Control de potencia del transmisor	7
2.4 Tecnología y características de antenas avanzadas.....	7
2.5 Altura de la antena y estructura del entorno	8
2.6 Densidad y distribución de las estaciones.....	8
2.7 Modelos de propagación.....	8
2.8 Repetidores para cobertura en interiores	8
2.9 Criterios de protección para las IMT	9
3 Configuración de la simulación.....	9
3.1 Topología de red	9
3.2 Modelización de redes IMT para el cálculo de la interferencia.....	13
3.3 Redes FDD/TDD	15
3.4 Metodología de simulación.....	16
4 Aplicación del control de potencia de los equipos de usuario (UE) de las IMT	24
4.1 Algoritmo de control de potencia	24
5 Aplicación del diagrama de antena con formación de haz para estaciones de base (BS) y equipos de usuario (UE) de las IMT	25
5.1 Diagrama de un elemento	26
5.2 Diagrama de antena compuesto	27
6 Aplicación de la información de tráfico IMT	27
7 Determinación de la interferencia combinada	28
8 Demostración de los resultados provisionales de la modelización IMT	29
9 Referencias	30
Adjunto 1 al Anexo 1	31
Adjunto 2 al Anexo 1	32

1 Introducción

El presente Anexo contiene la metodología para la modelización y simulación de redes IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad. En él se describen los modelos IMT adecuados que han de utilizarse en estudios de compartición y compatibilidad entre las IMT y otros sistemas radioeléctricos en varias bandas de frecuencias.

En la Sección 2 se proporcionan las definiciones y los conceptos fundamentales de las redes IMT con objeto de facilitar la elección del modelo IMT más adecuado. En dicha sección se facilita asimismo información sobre aspectos técnicos, en particular en relación con la potencia de salida y los diagramas de antena, así como la altura de antena y el entorno asociados a las modalidades de despliegue, la densidad y la distribución de estaciones IMT y la información sobre modelos de propagación en trayectos entre estaciones de base IMT y estaciones móviles.

También se describen los parámetros detallados de los sistemas IMT que han de tenerse en cuenta para dicha modelización y su aplicación en simulaciones, según se especifica en las secciones 3 a 6. En particular, en la Sección 3 figuran las etapas de simulación para la modelización de las emisiones totales generadas por las redes IMT (en el caso de que dichas redes sean el sistema interferente), y la modelización de su incidencia en las redes IMT (en el caso de que las redes IMT sean el sistema interferido). Habida cuenta de ello, en la Sección 7 se describe la metodología para determinar el efecto combinado de la posible interferencia provocada por un sistema IMT.

Por otro lado, con objeto de destacar la importancia de una modelización eficaz de los sistemas IMT en las modalidades de compartición y compatibilidad, en la Sección 8 se describen los métodos que permiten comparar la aplicación de la modelización de un sistema IMT sobre la base de los resultados provisionales relativos a la calidad de funcionamiento y a la operación de dicho sistema IMT.

2 Definiciones y conceptos fundamentales

2.1 Modalidades de utilización

Las IMT-Avanzadas constituyen la interfaz radioeléctrica más habitual para la prestación de servicios móviles de banda ancha (MBB). La interfaz radioeléctrica IMT-2020, además de facilitar la prestación de servicios móviles de banda ancha mejorados (eMBB), contribuirá al desarrollo de aplicaciones incipientes, en particular comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC) y comunicaciones de elevada fiabilidad y baja latencia (URLLC). Su metodología es aplicable a todos los casos anteriores, y hace hincapié en la prestación de MBB y eMBB, las modalidades de utilización más habituales en estudios de compartición y compatibilidad.

La banda ancha móvil y la banda ancha móvil mejorada constituyen el resultado de la aplicación de tecnologías más eficientes en el plano espectral con mayores cantidades de espectro, lo que permite prestar servicios de datos de mayor velocidad. La comunicación masiva de tipo máquina guarda relación con la conectividad de numerosos dispositivos de bajo costo y consumo de energía reducido en el ámbito de la Internet de las cosas (IoT). El objetivo es lograr comunicaciones de fiabilidad muy elevada y de latencia reducida para facilitar el control y la automatización de procesos dinámicos en tiempo real en esferas diversas, tales como la automatización y la fabricación en procesos industriales, la distribución energética y los sistemas de transporte inteligentes; a tal efecto, se requieren comunicaciones de fiabilidad y disponibilidad muy elevadas, y de latencia muy reducida de extremo a extremo.

Las comunicaciones de dispositivo a dispositivo (D2D) y de máquina a máquina (M2M) pueden utilizarse para aplicaciones mMTC y URLLC. En las comunicaciones D2D/M2M, las estaciones móviles inician la comunicación con las estaciones de base mediante su canal de control. El tráfico de datos del usuario se cursa a través del canal de datos directamente entre estaciones móviles. En tal caso, las estaciones móviles se sitúan en la zona celular que proporciona una estación de base.

2.2 Modalidades de despliegue

Con respecto al despliegue, cabe distinguir entre las redes de acceso radioeléctrico IMT-Avanzadas e IMT-2020 exteriores o interiores, así como entre redes con cobertura de zona extensa o de zona reducida sin discontinuidades.

En el Cuadro 1 se proporciona una descripción de alto nivel de los tipos de despliegue de las IMT. Las categorías 1 y 2 corresponden a la configuración actual de redes IMT con cobertura macrocelular sin discontinuidades. Las categorías 3 y 4 para cobertura de zonas reducidas pueden aplicarse de forma aislada, o en consonancia con las categorías 1 y 2.

CUADRO 1
Categorías de redes de acceso radioeléctrico

Emplazamiento de la MS	Cobertura de zona extensa sin discontinuidades	Cobertura de zona de tamaño reducido
MS para exteriores	Categoría 1 Macrocélula convencional (con antena omnidireccional, sectorial o de conformación de haz)	Categoría 3 Cobertura de zona reducida en exteriores (con antena omnidireccional, sectorial o de conformación de haz)
MS para interiores	Categoría 2 Cobertura mediante macrocélula en exteriores (con antena omnidireccional, sectorial o de conformación de haz)	Categoría 4 Cobertura de zona reducida en interiores (con antena omnidireccional, sectorial o de conformación de haz)

Por otro lado, las redes de acceso radioeléctrico pueden clasificarse con respecto a su modalidad de despliegue, habida cuenta de los aspectos siguientes:

- a) el entorno (rural/suburbano/urbano/interiores);
- b) la cobertura de zona extensa sin discontinuidades/cobertura de zona reducida.

En el Cuadro 2 se definen seis modalidades de despliegue que conjugan los aspectos a) y b) anteriormente señalados. Las tres modalidades de despliegue macrocelular a niveles rural, suburbano y urbano corresponden a la configuración actual de redes IMT con cobertura macrocelular sin discontinuidades. Las tres modalidades de despliegue restantes, correspondientes a los casos de despliegue microcelular a niveles suburbano y urbano, y en interiores, se aplican para prestar cobertura en zonas de reducido tamaño.

En determinados casos, las tres últimas modalidades de despliegue anteriormente mencionadas pueden aplicarse de forma aislada, y frecuentemente de forma conjunta con las tres modalidades de despliegue inicialmente mencionadas.

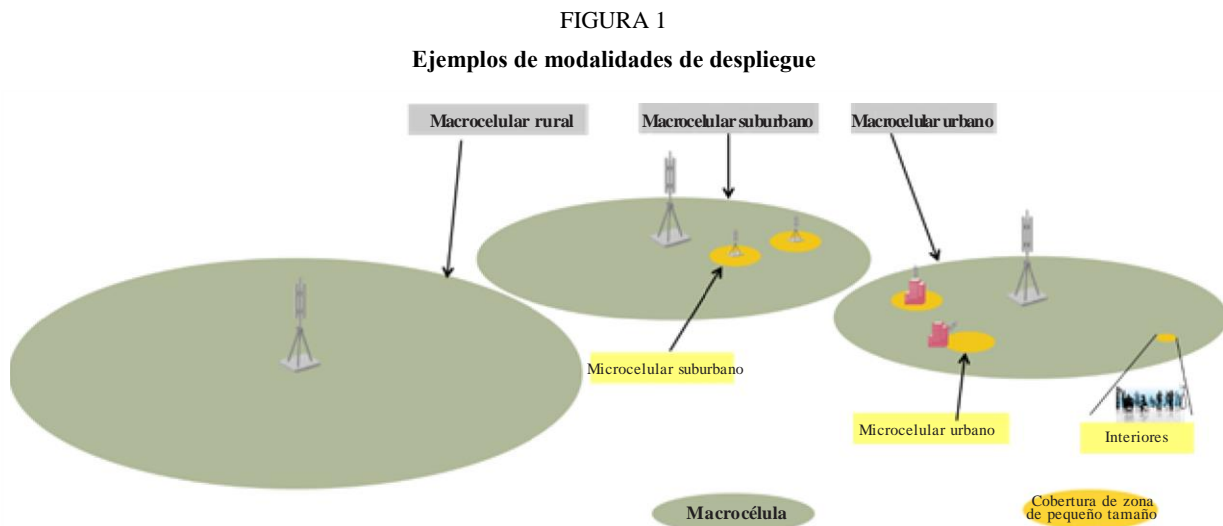
La clasificación de las modalidades de despliegue que figuran en el Cuadro 2 es aplicable a los modelos de IMT pertinentes, así como a los entornos de propagación correspondientes, con objeto de utilizar la modelización de IMT adecuada en los estudios de compartición.

CUADRO 2

Modalidades de despliegue de las redes de acceso radioeléctrico

Emplazamiento de la estación de base	Cobertura de zona extensa sin discontinuidades	Cobertura de zona de tamaño reducido
Rural	Macrocelular rural	No aplicable
Suburbano	Macrocelular suburbana	Microcelular suburbana
Urbano	Macrocelular urbana	Microcelular urbana
Interiores	No aplicable	Interiores

En la Fig. 1, así como en el texto que sigue a continuación, se describen las modalidades de despliegue posibles.



(1) Despliegue macrocelular rural

La modalidad de despliegue rural se destina a la cobertura de zonas extensas y continuas más amplias. Por lo general, las antenas de las estaciones de base se instalan en la parte superior de torres.

(2) Despliegue macrocelular suburbano

La modalidad de despliegue macrocelular suburbano se destina a la cobertura sin discontinuidades de zonas suburbanas (principalmente residenciales), y de localidades rurales con edificios de baja altura, salvo las zonas despobladas entre ambas. Por lo general, las antenas de las estaciones de base se instalan en torres o en azoteas y los usuarios pueden encontrarse en exteriores o en interiores.

(3) Despliegue macrocelular urbano

La modalidad de despliegue macrocelular urbano se destina a edificios de varios pisos, en los que las antenas de las estaciones de base se instalan, por lo general, al nivel de la azotea, o por encima del mismo. La potencia de las estaciones de base varía en función del despliegue local y de las

necesidades en materia de cobertura. Los usuarios pueden encontrarse en exteriores o en interiores. Los repetidores para cobertura en interiores, de existir, se consideran equiparables a los equipos de usuario (UE), y en consecuencia, se abordan de la misma forma.

(4) Despliegue microcelular suburbano

La modalidad de despliegue microcelular urbano se destina a la mejora de capacidad en pequeñas zonas comunitarias con edificios de baja altura en zonas suburbanas. Por lo general, las antenas de las estaciones de base se despliegan en postes. Los usuarios pueden encontrarse en exteriores o en interiores. Los repetidores de cobertura interior, de existir, se consideran equiparables a los UE, y en consecuencia, se abordan de la misma forma.

(5) Despliegue microcelular urbano

La modalidad de despliegue microcelular urbano se destina a edificios de varios pisos, con las antenas de estaciones de base situadas debajo del nivel de la azotea. Dichas antenas suelen ser antenas únicas sectoriales o de conformación de haz con baja potencia de salida. Esta modalidad de despliegue posee un entorno con bloqueo y/o difracciones múltiples/dispersión dominantes cerca de las antenas, por ejemplo, microcélulas y puntos de acceso de pequeño tamaño en la calle, desde el punto de vista de los efectos de propagación. Los usuarios pueden encontrarse en exteriores o en interiores.

(6) Despliegue en interiores

La modalidad de despliegue en interiores tiene lugar, por lo general, en entornos urbanos o suburbanos. Tanto las estaciones de base como los usuarios están en interiores.

2.3 Control de potencia del transmisor

En los estudios destinados a la evaluación de la repercusión de una red IMT completa debe tenerse en cuenta el carácter variable de las redes IMT, en particular el control de potencia.

Con respecto al enlace ascendente, determinados tipos de dispositivos (por ejemplo, los de baja potencia para aplicaciones MTC) pueden funcionar sin control de potencia, si bien otros tipos de dispositivos (por ejemplo, los dispositivos de banda ancha móvil mejorados) requieren ese control de potencia. El control de potencia permite compensar de forma total o parcial la diferencia de pérdidas de acoplamiento entre los dispositivos conectados a la BS y conlleva un nivel de recepción inicial previsto para cada bloque de recursos (RB).

Con respecto al enlace descendente, se utilizan varios tipos de estaciones de base (en particular, para coberturas macrocelular, microcelular, picocelular o femtocelular), cada una de ellas con un nivel de p.i.r.e. diferente. La potencia de salida de las estaciones de base para las modalidades de despliegue microcelular urbano y en interiores que se reseñan en la Sección 2.2 es, por lo general, inferior a la de otras modalidades de despliegue. No se aplica ningún control de potencia en enlace descendente en la estación de base, y la potencia de transmisión por bloque de recursos (RB) es constante. La potencia total en el enlace descendente varía en función del número de bloques de recursos utilizados. Sin embargo, en la presente Recomendación este efecto se modela de forma diferente (véase la Sección 3.4).

2.4 Tecnología y características de antenas avanzadas

En los últimos años se han desarrollado antenas de estaciones de base IMT para optimizar la transmisión o la recepción de señales. Por otro lado, el número de antenas receptoras que incorporan los terminales IMT ha aumentado.

Los elementos de antena que incorporan la estación base y el terminal ofrecen nuevas posibilidades. Los sistemas de entrada múltiple y de salida múltiple (MIMO) permiten utilizar varios flujos de señal

a los efectos de diversidad de transmisión, multiplexación espacial, formación del haz o control de puntos nulos en un sentido específico.

Las IMT-2020 utilizan gamas de frecuencias más bajas y bandas de frecuencias más elevadas. El tamaño de la antena varía en función de la frecuencia, con objeto de que las estaciones de base y los terminales puedan utilizar una huella de antena menor con un mayor número de elementos de antena en frecuencias más elevadas. El mayor número de elementos de antena permite lograr formas de haz más estrechas y reducir la posible interferencia en un receptor que no sea el previsto. Asimismo, una mayor ganancia de haz puede contribuir a mitigar pérdidas de trayecto mayores a frecuencias más elevadas, por ejemplo, en ondas milimétricas, y a lograr múltiples flujos de señal para varios usuarios (MIMO-(MU) multiusuario).

2.5 Altura de la antena y estructura del entorno

En los entornos rurales existen pocas estructuras arquitectónicas elevadas que obstruyan la propagación con visibilidad directa alrededor de las antenas de la estación de base. Sin embargo, a medida que el entorno pasa de suburbano a urbano, comienzan a surgir estructuras arquitectónicas más elevadas y densas en torno a dichas antenas. En consecuencia, la propagación se verá afectada en función de la posición de las antenas de las estaciones de base y de las estructuras arquitectónicas que existan alrededor de las mismas.

2.6 Densidad y distribución de las estaciones

En los cálculos de interferencia combinada es necesario tener en cuenta densidades y distribuciones de estaciones radioeléctricas flexibles. La demanda de tráfico de datos de gran velocidad se da principalmente en regiones con puntos de acceso específicas. Los despliegues en bandas de frecuencias más elevadas no abarcan habitualmente todas las zonas de un país o de una región, habida cuenta de que la cobertura podría complementarse mediante bandas de frecuencias más bajas.

2.7 Modelos de propagación

Las IMT abarcan muchas configuraciones de despliegue, en particular redes homogéneas de capa única, por ejemplo, redes macrocelulares o redes heterogéneas de múltiples capas, por ejemplo, redes macrocelulares/microcelulares, macrocelulares/picocelulares o microcelulares/picocelulares, tanto para entornos de propagación de exteriores a exteriores, de exteriores a interiores, y en interiores, para varios rangos de frecuencias.

Por otro lado, cabe tener en cuenta asimismo el entorno de propagación entre el sistema IMT y los sistemas de otros servicios sujetos a un entorno de coexistencia. Varios modelos ya se han tenido en cuenta en el marco de las Recomendaciones UIT-R de la serie P o los Informes UIT-R. Con respecto al cálculo de la pérdida de trayecto entre las estaciones de base IMT y los UE, véase también el Informe UIT-R M.2135.

Los efectos de propagación entre los sistemas interferente e interferido quedan fuera del alcance del presente documento. No obstante, al elegir los modelos de propagación han de tenerse en cuenta los entornos de despliegue de los sistemas IMT, en particular la situación de las antenas de las estaciones de base, las estructuras físicas circundantes y las frecuencias de funcionamiento.

2.8 Repetidores para cobertura en interiores

Con el fin de subsanar las grandes pérdidas de penetración en interiores, puede ser práctico utilizar repetidores montados en el muro del exterior de edificios, o colocados en ventanas en el interior de los mismos, a fin de facilitar la propagación casi con visibilidad directa con respecto a una estación de base.

2.9 Criterios de protección para las IMT

Los criterios de protección pertinentes figuran en los documentos del UIT-R, en particular el Informe UIT-R M.2292, en el que se proporciona el valor de I/N como criterio de protección. El valor de I/N corresponde a la relación entre el nivel de interferencia permitida entre sistemas en el receptor de IMT y el nivel de ruido del receptor (ruido térmico + factor de ruido del receptor).

Al modelizar redes IMT, la degradación de la relación portadora/interferencia más ruido ($C/(I+N)$) también podría utilizarse para evaluar las pérdidas o la interrupción de caudal del sistema IMT como consecuencia de la interferencia entre sistemas.

3 Configuración de la simulación

Con respecto a la modelización y simulación de redes IMT para su utilización en estudios de coexistencia, es esencial seleccionar las condiciones de despliegue adecuadas. Las condiciones de despliegue tenidas en cuenta constituyen aspectos primordiales que repercutirán en los resultados de cualquier estudio de compartición. Entre los factores determinantes cabe destacar la elección realista del entorno en el que opere la red IMT que se tenga en cuenta (urbana/suburbana/rural) y las bandas de frecuencias que se utilizarán en la simulación IMT. Por otro lado, cabe tener en cuenta la densidad y distribución de estaciones y la p.i.r.e., con arreglo a varios criterios, en particular el tamaño de la zona a la que se añade la interferencia. A continuación se enumeran otros factores que han de examinarse.

3.1 Topología de red

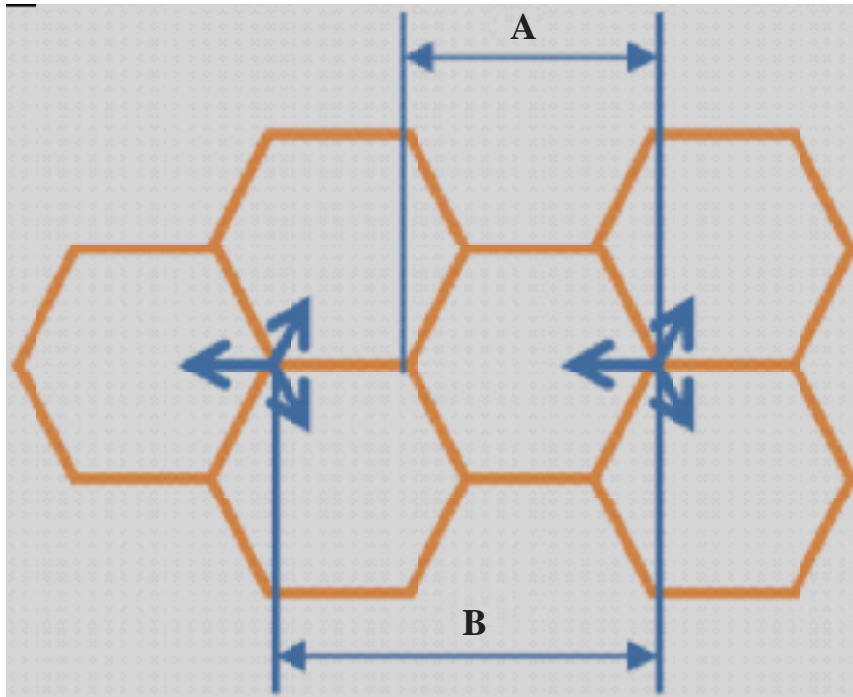
Existen dos tipos de estructura de red, a saber, las redes homogéneas y las redes heterogéneas. Las primeras constan de un único tipo de estación de base. Puede ser una estación de base macrocelular o microcelular, o para interiores. Las segundas están formadas al menos por dos tipos de estaciones de base. En el caso de estudios para zonas extensas, o estudios a escala nacional, puede ser necesaria una combinación de estructuras de red.

3.1.1 Red macrocelular

Las estaciones de base macrocelulares se despliegan a menudo en azoteas. En la Fig. 2 se muestra la geometría para un despliegue de 3 sectores, así como los parámetros relativos al radio de la célula (A) y a la distancia entre sitios (B). Cada célula (o sector) se representa mediante un hexágono; en esta figura hay tres células/sectores por cada emplazamiento de estación base. El tamaño de las células en las redes IMT puede variar sustancialmente en función del entorno, la frecuencia de portadora y el tipo de estación de base.

En los estudios de compartición para zonas extensas o a escala nacional para los que se utilicen radios celulares correspondientes a los despliegues urbano o suburbano han de tenerse en cuenta únicamente los casos de despliegue en zonas limitadas y centrales de grandes ciudades y zonas suburbanas.

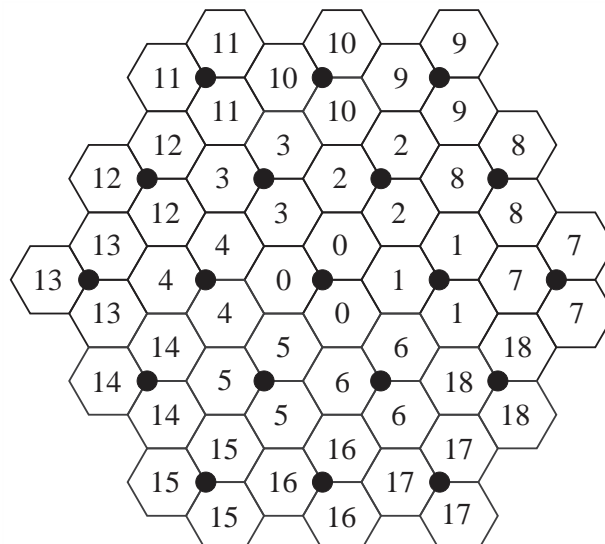
FIGURA 2
Geometría macrocelular



M.210H02

En la Fig. 3 se representa un ejemplo de topología de red macrocelular. La región de red completa pertinente para las simulaciones está formada por una agrupación de 19 emplazamientos, cada uno de los cuales incluye tres sectores (los sitios 0 a 18 de la figura); alrededor de esta agrupación central se repiten otras agrupaciones de 19 emplazamientos con arreglo a una metodología envolvente aplicada para evitar los efectos del despliegue de red en los bordes (véase el Adjunto 2 para ampliar información sobre metodologías envolventes). En algunos casos, por ejemplo, en situaciones transfronterizas, puede ser necesaria la modelización de dichos efectos.

FIGURA 3
Disposición macrocelular (agrupación central)

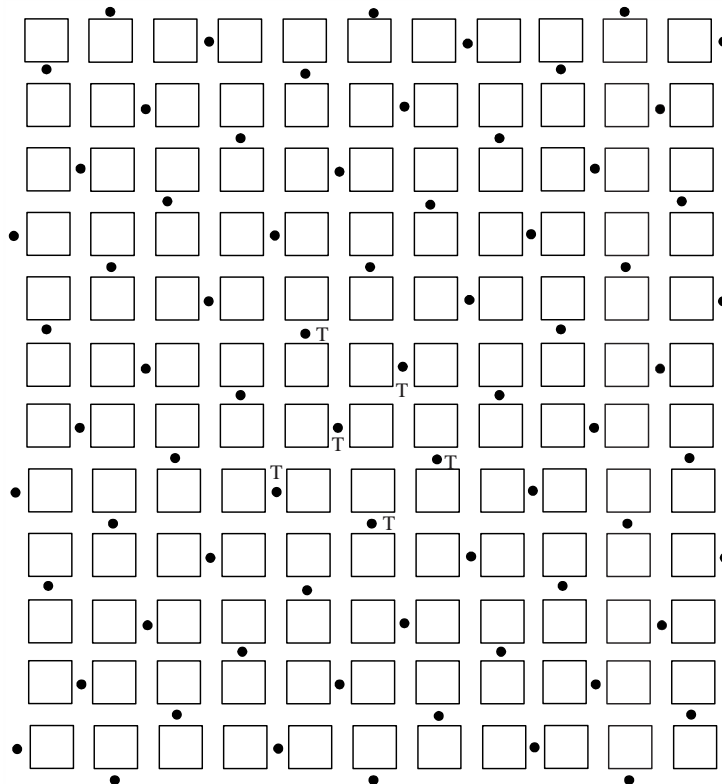


M.210H03

3.1.2 Red microcelular

En entornos urbanos, las microestaciones de base suelen desplegarse debajo de la azotea. Entre los ejemplos de topologías microcelulares [2] cabe destacar el modelo de Manhattan. Las estaciones de base de las microcélulas se disponen en una retícula de Manhattan según se indica en la Fig. 4.

FIGURA 4
Topología microcelular

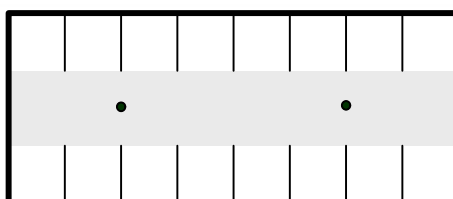


M.210104

3.1.3 Puntos de acceso en interiores

En esta modalidad de despliegue las estaciones de base se instalan en interiores. Los puntos de acceso en interiores pueden instalarse, por ejemplo, en el piso de un edificio. En la Fig. 5 se muestra la topología de una célula en interiores. El tamaño de este tipo de células interiores varía en función de la banda de frecuencias y de la configuración del interior del edificio. Cabe utilizar despliegues similares en cada piso para casos de compartición entre varias plantas. Si se realiza la hipótesis de que el sistema IMT para interiores es el sistema interferente, deberán tenerse en cuenta las pérdidas de penetración en interiores.

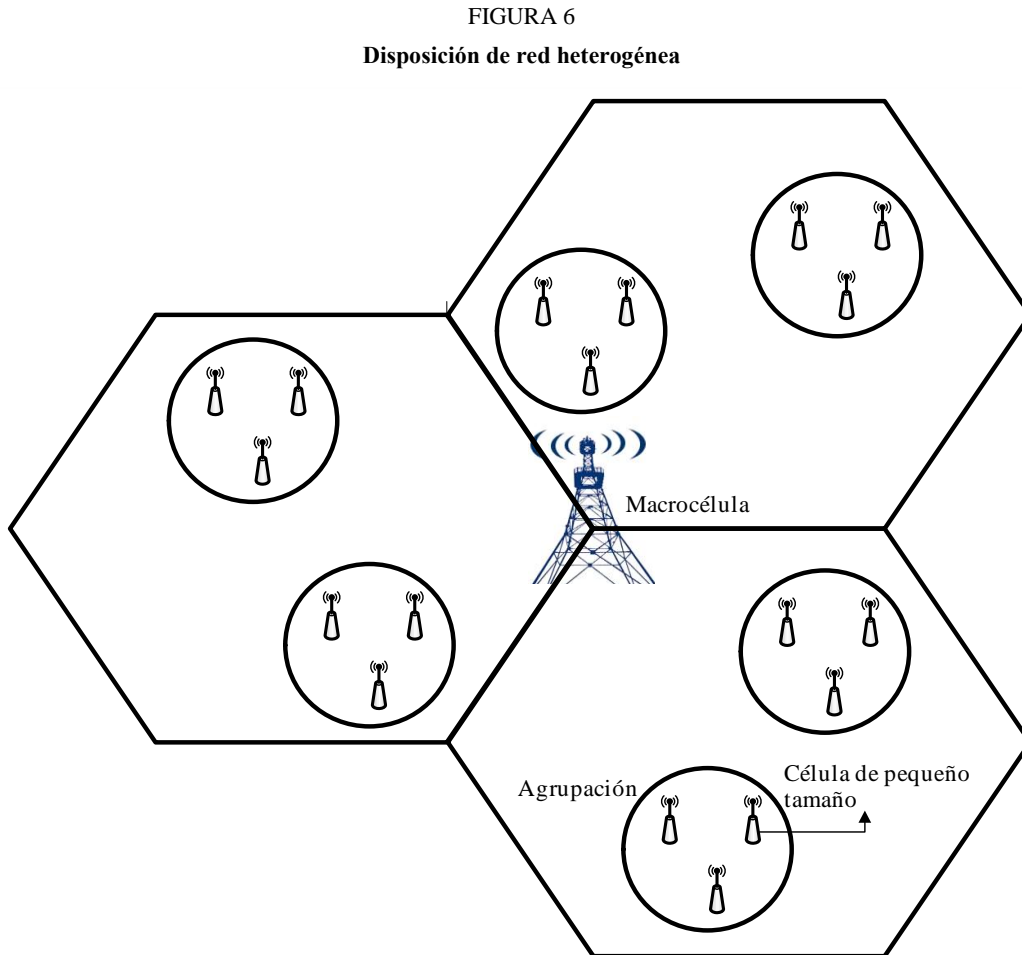
FIGURA 5
Disposición de los puntos de acceso en interiores



M.2101-05

3.1.4 Red heterogénea

En la Fig. 6 se representa un ejemplo de red heterogénea compuesto por macrocélulas y microcélulas. En la zona de cobertura de cada macrocélula se disponen varias agrupaciones de microcélulas. Cada agrupación consta de varias células que pueden disponerse de forma aleatoria o en emplazamientos fijos predeterminados.



Sobre la base de la disposición descrita en la Fig. 6, el establecimiento del proceso aleatorio para la distribución de las microestaciones de base puede realizarse en dos etapas sucesivas, a saber:

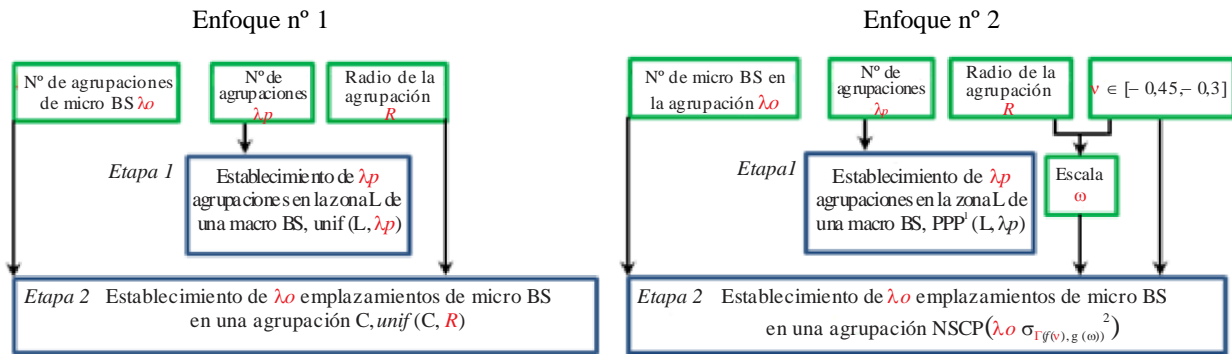
etapa 1: establecimiento de λ_p agrupaciones en la zona de la macrocélula con arreglo a una distribución $D_{cluster}$;

etapa 2: establecimiento de λ_o emplazamientos de micro BS en cada agrupación con arreglo a una distribución D_{BS} .

Cabe distinguir dos enfoques diferentes relativos a cada etapa. Ambos conllevan la topología de la micro BS con arreglo al número de agrupaciones λ_p y el radio de agrupación R para situar el número λ_o de micro BS para cada agrupación.

FIGURA 7

Esquema relativo al establecimiento de micro BS



M.210107

En la Fig. 7 anterior, el enfoque 1 se basa en [1] y se tiene en cuenta a tal efecto una distribución aleatoria uniforme (en la zona geográfica de una macrocélula) con respecto a las agrupaciones, así como los emplazamientos de las micro BS en cada agrupación, mientras que el enfoque 2, basado en despliegues reales de micro BS [8], requiere un parámetro adicional ν y se tienen en cuenta en el mismo varias distribuciones de probabilidad para la agrupación (proceso de punto de Poisson (PPP)) y los emplazamientos de las micro BS (varianza-gamma σ_{Γ}). Véase el Adjunto 1 para ampliar información sobre el significado y la relación entre R , ω y ν . Cabe señalar que si bien la aplicación de ambos enfoques es válida en los estudios de compartición, el enfoque 2 puede ser más adecuado en el caso en el que el receptor interferido del servicio que no sea IMT se encuentre cerca de las estaciones de base IMT (por ejemplo, en el mismo entorno urbano).

Con objeto de evitar una intensa interferencia de la macrocélula, por lo general se utilizará otra banda de frecuencias para la microcélula. Si una red utiliza varias frecuencias para las dos capas de IMT, en un estudio de compartición será suficiente simular únicamente la capa adyacente, o superpuesta, a la frecuencia del sistema interferido. Sin embargo, en esa simulación deberá tenerse en cuenta que no todo el tráfico se cursa a través de la capa IMT simulada.

Para una red con múltiples bandas de frecuencias, la macrocélula utilizará la banda de frecuencias más baja para lograr una cobertura completa.

3.2 Modelización de redes IMT para el cálculo de la interferencia

En los estudios de compartición y compatibilidad cabe tener en cuenta varios tipos de interferencia, en función de la modalidad de despliegue de que se trate. Dichos tipos de interferencia se describen en esta sección.

Para las modalidades que conlleven la utilización de sistemas IMT y de sistemas que no son IMT, pueden tenerse en cuenta los efectos en el mismo canal y en el canal adyacente de forma conjunta como rechazo dependiente de la frecuencia (FDR), según se describe en la Recomendación UIT-R SM.337.

3.2.1 Emisiones en el mismo canal

En las modalidades de despliegue en las que los sistemas interferente e interferido funcionan en la misma frecuencia (mismo canal), el tipo de interferencia dominante que ha de tenerse en cuenta será el resultante de la potencia del sistema interferente transmitida en el mismo canal.

3.2.2 Emisiones en el canal adyacente

En las modalidades de despliegue en bandas adyacentes, en la que los sistemas interferente e interferido funcionan en frecuencias diferentes, cabe tener en cuenta dos tipos de interferencias:

- las emisiones no deseadas interferentes: emisiones no deseadas consistentes en emisiones fuera de banda y emisiones no esenciales;
- la calidad de funcionamiento respecto del bloqueo del receptor del sistema interferido: capacidad del receptor para recibir una señal deseada en la anchura de banda de su canal asignado en presencia de interferencia.

3.2.2.1 Emisiones no deseadas interferentes

3.2.2.1.1 Interferencia de emisiones fuera de banda (OOB)

Las emisiones OOB interferentes son emisiones no deseadas en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, como consecuencia del proceso de modulación, excluidas las emisiones no esenciales.

En los sistemas IMT, la interferencia P_{tx}^{OOB} de las emisiones OOB interferentes puede determinarse de la siguiente manera:

$$P_{tx}^{spurious} = P_{tx} - ACLR_{equiva} \quad \text{dB} \quad (2)$$

siendo:

- P_{tx} (dBm): la potencia de salida del transmisor interferente
- $ACLR$ (dB): la relación de potencia de fuga en el canal adyacente, que es la relación entre la potencia media filtrada (integrada a lo largo de la anchura de banda del canal asignado) centrada en la frecuencia del canal asignado y la potencia media filtrada (integrada a lo largo de la anchura de banda del canal adyacente) centrada en la frecuencia de un canal adyacente. La ACLR también se puede obtener mediante la máscara de emisiones fuera de banda que se proporciona en las especificaciones conexas, por ejemplo, 3GPP [6][7].

También podría ser necesario contar con información sobre las emisiones OOB de otros sistemas (no-IMT), determinadas o no mediante la ACLR.

3.2.2.1.2 Interferencia de emisiones no esenciales

Las emisiones no esenciales son emisiones no deseadas en una frecuencia, o en varias, fuera del dominio de las emisiones OOB, cuyo nivel puede reducirse sin afectar a la correspondiente transmisión de información. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, si bien se excluyen las emisiones fuera de banda.

En el caso de los sistemas IMT, el valor de la emisión no esencial $P_{tx}^{spurious}$ definida para una banda de frecuencias determinada, figura en las especificaciones conexas, por ejemplo, en el Informe UIT-R M.2292 y en 3GPP.

De forma análoga a las emisiones OOB, puede calcularse un valor de ACLR equivalente ($ACLR_{equiva}$) para la emisión no esencial y utilizarse en la simulación. Posteriormente, el valor de $P_{tx}^{spurious}$ podría obtenerse de la forma siguiente:

$$P_{tx}^{spurious} = P_{tx} - ACLR_{equiva} \quad \text{dB} \quad (2)$$

También podría necesitarse información sobre las emisiones no esenciales de otros sistemas (que no sean IMT), que puedan determinarse o no mediante la ACLR.

3.2.2.2 Interferencia de bloqueo

La característica de bloqueo permite evaluar la capacidad del receptor para recibir una señal deseada por su canal asignado con una señal interferente no deseada.

En los sistemas de las IMT, el valor de la interferencia de bloqueo $P_{blocking}$ puede obtenerse del modo siguiente:

$$P_{blocking} = P_{rx} - ACS \quad \text{dB} \quad (3)$$

siendo:

P_{rx} (dBm): la potencia media de la señal interferente en el receptor

ACS (dB): la selectividad del canal adyacente permite medir la capacidad de un receptor para recibir una señal en su canal de frecuencias asignado con una señal modulada en un canal adyacente. El valor de ACS puede obtenerse mediante la ACS/interferencia de bloqueo que se define en las especificaciones correspondientes. Véase el Informe UIT-R M.2039-3, nota (27) del Cuadro 2, o 3GPP TR 36.942.

También podría ser necesaria información sobre las características de bloqueo de otros sistemas (que no son IMT), que podrían definirse o no por medio de la selectividad del canal adyacente (ACS).

3.2.3 ACIR/FDR

La relación de potencia interferente del canal adyacente (ACIR) viene dada por la proporción entre la potencia total transmitida por una fuente (una estación de base o un UE) y la potencia de la interferencia total en un receptor interferido, como consecuencia de imperfecciones del transmisor o del receptor. La ACIR se utiliza habitualmente en situaciones en las que tanto el sistema interferente como el interferido son sistemas IMT. En consecuencia, la ACIR es un valor dependiente de ambos tipos de interferencia (las emisiones no deseadas y la interferencia de bloqueo), que se obtiene de acuerdo con la ecuación (4) con los valores de ACLR y ACS expresados de forma lineal.

$$ACIR^{-1} = ACLR_{TX}^{-1} + ACS_{RX}^{-1} \quad (4)$$

Si no se dispone de los valores de ACS y ACLR, el valor de la ACIR podrá sustituirse por el valor de FDR, según se especifica en la Recomendación UIT-R SM.337.

3.2.4 Características de la implantación de equipos IMT

El rendimiento de la implantación de equipos IMT, en particular con respecto a los niveles de emisión no deseada o de rendimiento de bloqueo, suele ser más elevado en condiciones normales que el que se especifican en las normas.

En consecuencia, al modelar sistemas IMT, cabe tener en cuenta aspectos prácticos relativos al diseño de equipos IMT. Si se dispone de la información pertinente, por ejemplo, los resultados de las mediciones de los niveles de emisión no deseada de los equipos implantados, la diferencia entre los valores especificados y los medidos podría tenerse en cuenta al modelar los sistemas IMT.

3.3 Redes FDD/TDD

Las redes IMT pueden ser redes de duplexación por división de frecuencia (FDD) (mediante bandas de frecuencias diferentes para los enlaces ascendente y descendente), redes de duplexación por división de tiempo (TDD) (mediante la misma banda de frecuencias para los enlaces ascendente y

descendente, con arreglo a una proporción de sincronización/desincronización fija o variable entre ambos) o únicamente redes de enlace descendente/ascendente. Al establecer las modalidades de simulación ha de tenerse en cuenta la modelización de las IMT.

Si la interferencia combinada a un sistema interferido proviene de una zona terrestre extensa o muy extensa, por ejemplo, una plataforma de satélite o una plataforma a gran altitud, podría ser necesario tener en cuenta, con respecto al simulador, varias redes IMT independientes desde un punto de vista geográfico.

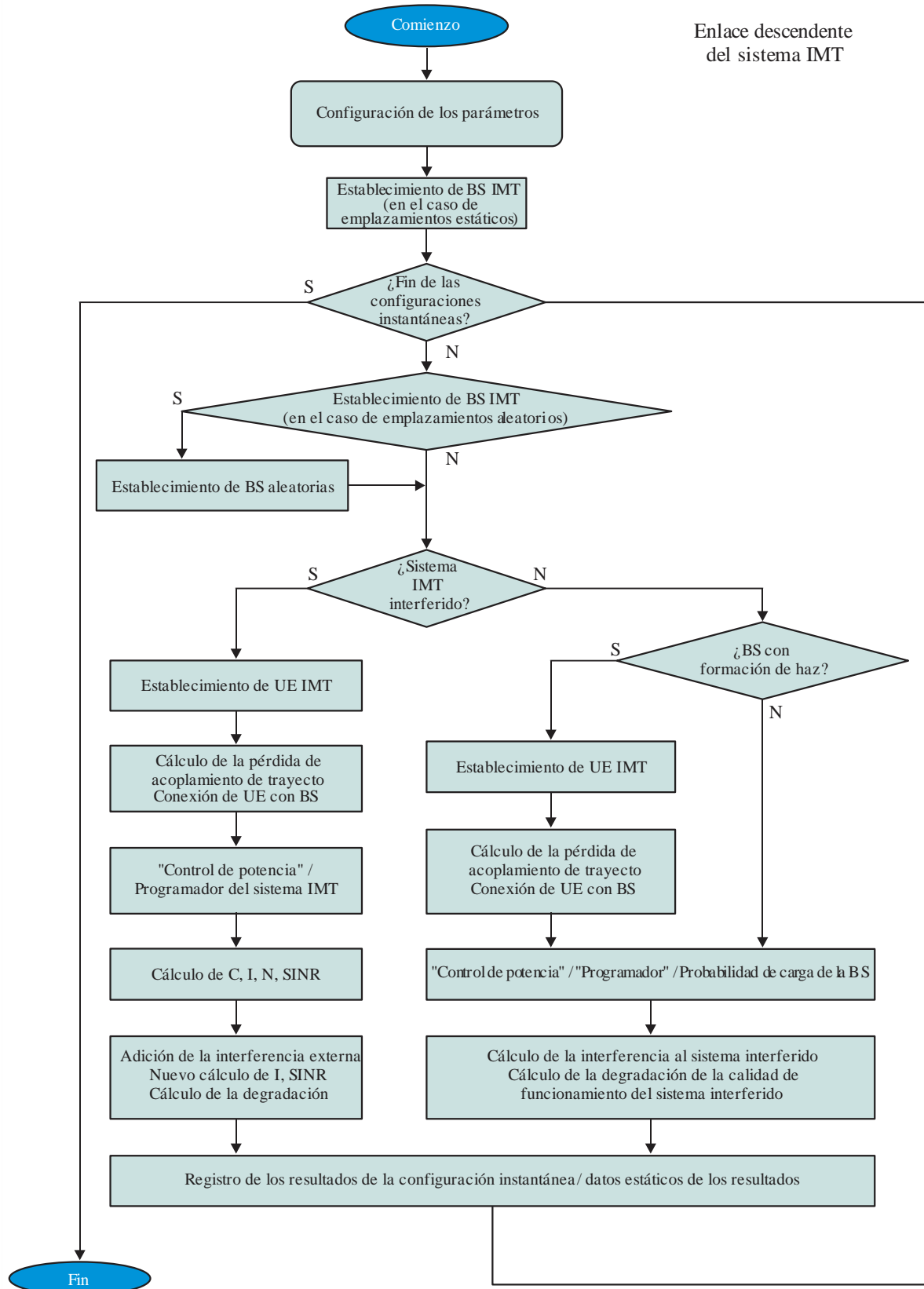
3.4 Metodología de simulación

En esta sección se describen las etapas de una metodología de simulación para generar emisiones en el enlace ascendente o en el descendente de una red IMT para la realización de estudios de coexistencia.

El método se basa en una simulación del sistema completo, ampliamente utilizada en estudios de compartición y de compatibilidad en redes IMT. A tal efecto se realiza un análisis de Monte Carlo para evaluar la probabilidad de interferencia simulando simultáneamente la interferencia entre sistemas provocada por varias fuentes. Los efectos de cada hipótesis realizada en materia de topología, algoritmos de control de potencia y densidades de distribución de los transmisores interferentes se plasman asimismo en los resultados de la evaluación. Cabe observar que el método para calcular la degradación del rendimiento del sistema interferido que no es de IMT que figura en las Figs. 8 y 9, así como la modelización de otros sistemas, quedan fuera del alcance de este documento.

El método estático descrito a continuación puede servir de punto de partida para elaborar modelos más complejos con objeto de tener en cuenta, por ejemplo, aspectos temporales. En dicho modelo se tendría en cuenta la variación del nivel de interferencia con respecto al tiempo, por ejemplo, en el caso de UE móviles que interfieren con sistemas terrenales sin retransmisión, en particular receptores de radiodifusión. A continuación se indica el diagrama de flujo habitual de la simulación estática.

FIGURA 8
 Diagrama de flujo del método de simulación relativo al enlace descendente



3.4.1 Enlace descendente

Establecer una red de estaciones de base (BS) (en caso de ser estáticas, con posiciones fijas) que dependa de la modalidad de utilización/despliegue escogida.

De $i=1$ al número de configuraciones instantáneas

- 1) Varias etapas de a) a f) podrían no ser necesarias para cada configuración instantánea, en función del trayecto del diagrama de flujo escogido.
 - a) Establecer/distribuir aleatoriamente los nodos de BS para redes de BS con nodos de posición aleatoria.
 - b) Distribuir aleatoriamente un número suficiente² de UE en la zona del sistema de forma que se asigne el mismo número K de usuarios «escogidos» (UE que reciben datos de las BS relativas a esa configuración instantánea) a cada célula con arreglo al margen de traspaso (HO). El valor de K dependerá de la modalidad de utilización/despliegue, de la frecuencia y de la anchura de banda de que se trate. Calcular la pérdida de acoplamiento de trayecto (máx. {pérdidas de propagación + desvanecimiento + ganancias de las antenas}, MCL) desde cada UE hasta todas las BS. Si en la red de BS se aplica el método de envolvente, identificar asimismo los menores valores de pérdidas de acoplamiento entre los UE y las BS.
 - c) Asociar el UE aleatoriamente a una BS para la que las pérdidas de acoplamiento de trayecto sean inferiores al menor valor de pérdidas de acoplamiento más el margen de HO.
 - d) Seleccionar K UE aleatoriamente entre todos los UE asociados a una BS como UE «escogidos». Esos K UE «escogidos» se programarán para esta configuración instantánea. Si se tiene en cuenta la formación de haz, orientar los haces de las BS/los UE seleccionados uno con respecto al otro.
 - e) Todos los bloques de recursos disponibles (RB) se asignarán a UE «escogidos» y cada UE se programará con el mismo número n de RB. En consecuencia, la potencia transmitida de la BS por UE será fija.
 - f) Las BS transmiten con plena potencia o no transmiten con arreglo a una probabilidad de carga determinada, es decir, el $x\%$ de las BS se escoge de forma aleatoria para transmitir, y el resto no transmite. Véase la Sección 6.

El valor de x puede ser numérico o escogerse aleatoriamente en una gama relativa a cada configuración instantánea.

Con respecto a las BS que transmiten, la potencia por UE³ se calcula del modo siguiente:

Siendo P_{BS}^{Max} la potencia máxima de transmisión de la BS

$M = n \times K$ es el número de todos los RB disponibles para cada BS

P_{BS}^{UE} es la potencia de transmisión de la BS al UE «escogido», y

² «El número necesario de dispositivos descartados (distribuidos) dependerá del método de descarte aplicado, es decir, si el descarte aleatorio tiene lugar en cada zona de cobertura de las BS o de forma aleatoria en la zona de cobertura de toda la red, y del número K que debería asignarse a cada BS. Por lo general, dicho número necesario oscilará entre $2 \cdot K$ y $10 \cdot K$ a fin de garantizar la asignación requerida por BS, en función del método de descarte aplicado.»

³ Como se muestra en el diagrama de flujo, un posible trayecto no requiere el establecimiento de UE. En relación con este trayecto, fíjese $P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max}$ para la aplicación ininterrumpida de las etapas 2 y 6.

n es el número de bloques de recursos por UE,

$$P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max} \frac{n}{M} \quad (5)$$

Continuar en la etapa 2 si el enlace descendente (DL) de IMT es el sistema interferente.

Continuar en la etapa 3 si el enlace descendente de IMT es el sistema interferido.

2) Escoger IMT DL como sistema interferente.

a) Escoger aleatoriamente el $x\%$ de las BS, en función de la carga del sistema y de las condiciones de interferencia (el sistema interferente más cercano o la interferencia combinada) como sistema interferente al sistema interferido.

b) Si se realiza la hipótesis de que se modeliza el sistema interferido, aplicar la interferencia al sistema interferido y calcular la degradación de su rendimiento.

Calcular la interferencia externa de cada enlace descendente del sistema IMT al sistema interferido.

Formar un bucle respecto de todas las BS seleccionadas, de $j = 1$ a N_{cell} (número de BS seleccionadas en la zona del sistema).

Formar un bucle respecto de todos los UE «escogidos» en la BS seleccionada, de $k = 1$ a K ; posteriormente, la interferencia de BS_j (cuando se presta servicio al k -ésimo UE) puede calcularse de la forma siguiente:

$$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) = P_{BS}^{UE} \times CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) / ACIR_{linear} \quad (6)$$

siendo:

$CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: pérdida de acoplamiento de la BS_j (cuando se presta servicio al k -ésimo UE) del sistema de IMT al receptor interferido, incluidos las pérdidas de trayecto, la pérdida de penetración, el desvanecimiento debido a sombras y la ganancia de antena en el transmisor/receptor.

Sustituir $ACIR_{linear}$ por FDR en caso de utilizar FDR.

$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: interferencia entre sistemas de la BS_j (cuando se presta servicio al k -ésimo UE) al receptor interferido.

La interferencia combinada del sistema externo viene dada por la expresión siguiente:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) \quad (7)$$

siendo:

$I_{External}$: interferencia combinada del sistema externo al sistema interferido.

Calcular la repercusión de la interferencia externa en el sistema interferido. El cálculo de la repercusión en sistemas que no son de IMT queda fuera del alcance de esta Recomendación y depende de la modalidad de compartición de que se trate.

c) Pasar a la etapa 6.

3) Seleccionar el IMT DL como sistema interferido.

a) Seleccionar de forma aleatoria el $x\%$ de las BS, dependiendo de la carga del sistema.

b) Calcular DL C/I para todos los UE «escogidos».

Formar un bucle respecto de todas las BS seleccionadas, de $j = 1$ a N_{cell} (número de BS seleccionadas en la zona del sistema).

Formar un bucle respecto de todos los UE «escogidos» en las BS seleccionadas, de $k = 1$ a K .

Para el k -ésimo UE «escogido» en la célula j -ésima ($UE_{j,k}$) su C/I viene dada por $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$.

$C(j,k)$ es la potencia recibida de la BS que presta servicio, es decir, la j -ésima BS.

$$C(j,k) = P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (8)$$

$I(j,k)$ es la potencia de la interferencia formada por la interferencia interna del sistema (de otras células de la propia red) $I_{intra}(j,k)$, y el ruido térmico N_t .

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t \quad (9)$$

$$I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_l) \quad (10)$$

$$N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{UE})/10)} \quad (11)$$

siendo $10 \log_{10}(kT)$ la densidad espectral de potencia de ruido en dBm.

- 4) Añadir la interferencia externa Z_y , formada por y interferentes, cada uno de ellos de potencia $P_{ext,y}$. Si la interferencia únicamente se produce en una célula, o en varias, la interferencia principal deberá afectar a una célula activa (una célula con una BS escogida).

Calcular el DL que es objeto de interferencia externa $C/I = \left(\frac{C(j,k)}{I(j,k)} \right)$ para todos los UE «escogidos».

$C(j,k)$, $I_{intra}(j,k)$ y N_t son los mismos que en la etapa 3.

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t \quad (12)$$

$$I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, UE_{j,k}) / ACIR_{linear} \quad (13)$$

El valor de $ACIR$ deberá calcularse con respecto al número de bloques de recursos asignados por UE. Sustituir $ACIR_{linear}$ por FDR en caso de usar FDR .

- 5) Determinar el caudal con interferencia externa y sin ella para cada UE «escogido» con C/I acorde a la correspondencia enlace-sistema.
- 6) Recabar datos estadísticos.

Establecer una red de estaciones de base (BS) (en caso de ser estáticas, con posiciones fijas) que dependa de la modalidad de utilización/despliegue escogida.

De $i=1$ al número de muestras

- 1) Varias etapas de a) a f) podrían no ser necesarias para cada muestra, en función del trayecto del diagrama de flujo escogido.
 - a) Establecer/distribuir aleatoriamente los nodos de BS para los casos de redes de BS cuyos nodos tengan una posición aleatoria.
 - b) Distribuir aleatoriamente un número suficiente⁴ de UE en la zona del sistema de forma que se asigne el mismo número K de usuarios «escogidos» a cada BS con arreglo al margen de HO de 3 dB. El valor de K dependerá de la modalidad de utilización/despliegue, y de la frecuencia y de la anchura de banda de que se trate. Por lo general, en los estudios de MBB se ha utilizado K en el intervalo de 3 a 6.
 - c) Calcular la pérdida de acoplamiento de trayecto (máx.{pérdidas de propagación + desvanecimiento + ganancia de las antenas}, MCL) desde cada UE hasta todas las BS. Si en la red de BS aplica el método de envolvente, identificar asimismo los menores valores de pérdidas de acoplamiento entre los UE y las BS.
 - d) Asociar el UE aleatoriamente a una BS para la que las pérdidas de acoplamiento de trayecto sean inferiores al menor valor de pérdidas de acoplamiento más el margen de HO.
 - e) Seleccionar K UE aleatoriamente en todos los UE asociados a una BS como UE «escogidos». Esos K UE «escogidos» se programarán para esta configuración instantánea.
 - f) La potencia por UE se determina mediante el control de potencia del UL.
 - g) Se realiza la hipótesis de estación de base con carga plena, es decir, todos los RB disponibles se asignan a UE activos. Cada UE se programa con respecto al mismo número n de RB. El estado de transmisión de los UE conectados con una BS depende de una probabilidad de carga, es decir, los UE en el $x\%$ de las BS escogidas aleatoriamente transmiten, y el resto de los UE permanecen sin transmitir. Véase la Sección 6. El valor de x puede ser numérico o escogerse aleatoriamente en una gama relativa a cada configuración instantánea.
- 2) Aplicar el control de potencia del UL.
 Pasar a la etapa 3 si el enlace ascendente IMT es el sistema interferente. Pasar a la etapa 4 si el enlace ascendente IMT es el sistema interferido.
- 3) Escoger los IMT UL como sistemas interferentes.
 - a) Escoger aleatoriamente el $x\%$ de las BS, en función de la carga del sistema y de las condiciones de interferencia (el sistema interferente más cercano o la interferencia combinada). Seleccionar los UE conectados con esas BS para interferir en el sistema interferido.

⁴ «El número necesario de dispositivos descartados dependerá del método de descarte aplicado, es decir, si el descarte aleatorio tiene lugar en la zona de cobertura de cada BS, o de forma aleatoria en la zona de cobertura de toda la red, y del número K que debería asignarse a cada BS. Por lo general, dicho número necesario oscilará entre $2*K$ y $10*K$ a fin de garantizar la asignación requerida por BS, en función del método de descarte aplicado.»

b) Aplicar la interferencia al sistema interferido y evaluar su incidencia:

Formar un bucle respecto de todas las BS seleccionadas, de $j = 1$ a N_{cell} (el número de BS seleccionadas en la zona del sistema).

Formar un bucle respecto de todos los UE «escogidos» en las BS seleccionadas, de $k = 1$ a K .

Calcular la interferencia externa de cada enlace ascendente IMT al sistema interferido.

$$I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) = P_{UE_k}^{BS_j} \times CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) / ACIR_{linear} \quad (14)$$

(Sustituir $ACIR_{linear}$ por FDR en caso de utilizar FDR).

Siendo:

$P_{UE_k}^{BS_j}$: Potencia de transmisión del k -ésimo UE servido por la BS_j

$CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: Pérdidas de acoplamiento del k -ésimo UE servido por la BS_j al receptor interferido.

$I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: Interferencia entre sistemas del k -ésimo UE servido por la BS_j al receptor interferido.

La interferencia externa combinada del sistema viene dada por la fórmula siguiente:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) \quad (15)$$

siendo:

$I_{External}$: La interferencia externa combinada del sistema al sistema interferido.

Evaluar la incidencia de la interferencia externa en el sistema interferido. La evaluación de la incidencia en el sistema interferido que no es IMT queda fuera del alcance de la presente Recomendación y depende de la modalidad de compartición de que se trate.

c) Pasar a la etapa 7.

4) Escoger IMT UL como estación interferida.

a) Seleccionar aleatoriamente el $x\%$ de las BS en función de la carga del sistema

b) Calcular UL C/I para todos los UE «escogidos» en todas las células.

Formar un bucle respecto de todas las BS seleccionadas, de $j=1$ a N_{cell} (número de BS seleccionadas en la zona del sistema).

Formar un bucle respecto de todos los UE «escogidos» en las BS seleccionadas, de $k = 1$ a K .

Para el k -ésimo UE «escogido» en la célula j -ésima ($UE_{j,k}$) su C/I viene dada por $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$

siendo:

$C(j,k)$ la potencia recibida de $UE_{j,k}$, en la j -ésima BS

$$C(j,k) = P_{PUSCH}(j,k) \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (16)$$

$I(j,k)$ es la potencia de la interferencia que incluye la interferencia interna del sistema (interferencia de los UE asignados a los mismos bloques de recursos en otras células de la propia red) $I_{intra}(j,k)$, y el ruido térmico N_t .

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t \quad (17)$$

$$I_{\text{intra}}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{\text{cell}}} P_{\text{PUSCH}}(l,k) \times \text{pathCouplingLoss}(UE_{l,k}, BS_j) \quad (18)$$

$$N_t = 10^{\left((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(\text{bandwidth of } n \text{ RBs}) + \text{NoiseFigure}_{BS}) / 10 \right)} \quad (19)$$

siendo $10 \log_{10}(kT)$ la densidad espectral de potencia de ruido en dBm.

- 5) Añadir la interferencia externa Z_y , formada por y interferentes, cada uno de ellos de potencia $P_{\text{ext},y}$.

Si la interferencia solamente se produce en una célula, o en varias, la interferencia principal deberá afectar a una célula activa (una célula con una BS escogida).

Calcular el UL objeto de interferencia externa $C/I = \left(\frac{C(j,k)}{I(j,k)} \right)$ para todos los UE «escogidos».

$C(j,k)$, $I_{\text{intra}}(j,k)$ y N_t son los mismos que en la etapa 4.

$$I(j,k) = I_{\text{intra}}(j,k) + I_{\text{external}}(j,k) + N_t \quad (20)$$

$$I_{\text{external}}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{\text{ext},m} \times \text{pathCouplingLoss}(Z_m, BS_j) / ACIR_{\text{linear}} \quad (21)$$

El valor de ACIR utilizado deberá calcularse con respecto al número de bloques de recursos asignados por cada UE. Sustituir $ACIR_{\text{linear}}$ por FDR en caso de usar FDR.

$$N_t = 10^{\left((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(\text{bandwidth of } n \text{ RBs}) + \text{NoiseFigure}_{BS}) / 10 \right)} \quad (22)$$

siendo $10 \log_{10}(kT)$ la densidad espectral de potencia de ruido en dBm.

- 6) Determinar el caudal con interferencia externa y sin ella para cada UE «escogido» con C/I acorde a la correspondencia enlace-sistema.
- 7) Recabar datos estadísticos.

4 Aplicación del control de potencia de los equipos de usuario (UE) de las IMT

El control de potencia es una característica técnica importante de los sistemas IMT. La capacidad celular del enlace ascendente en los sistemas basados en OFDMA está restringida por los niveles de interferencia de otros UE. Los niveles de potencia de salida de los UE se ajustan para mantener el valor de interferencia mínimo y garantizar la cobertura en los bordes de las células. El control de potencia puede aplicarse conjuntamente con estrategias de asignación de recursos en el dominio de la frecuencia a fin de mejorar la calidad de funcionamiento en los bordes de las células y aumentar la eficiencia espectral.

Cabe señalar que, puesto que la potencia de salida del transmisor de los UE puede ser inferior a la máxima potencia de salida del transmisor en la banda de frecuencias de transmisión, el nivel promedio de emisión fuera de banda (OOBE) podría ser inferior al nivel de OOBE especificado.

4.1 Algoritmo de control de potencia

En los sistemas de IMT-Avanzadas, el algoritmo de control de potencia del UE que se utilizará en los estudios de compartición es el siguiente:

$$P_{\text{PUSCH}}(i) = \min(P_{\text{CMAX}}, 10 \log_{10}(M_{\text{PUSCH}}(i)) + P_{\text{O_PUSCH}}(j) + \alpha(j) \cdot PL) \quad (23)$$

siendo:

P_{PUSCH} la potencia de transmisión del terminal en dBm

- P_{CMAX} la máxima potencia de transmisión en dBm
- M_{PUSCH} el número de RB asignados
- P_{0_PUSCH} el valor de potencia por RB prevista en dBm
- α factor de equilibrio para los UE con canal inadecuado y los UE con canal adecuado
- PL pérdidas de trayecto en dB del UE desde la BS que presta servicio.

Cabe esperar que el algoritmo de control de potencia del UE para los sistemas IMT-2020 sea similar al utilizado en las redes IMT-Avanzadas.

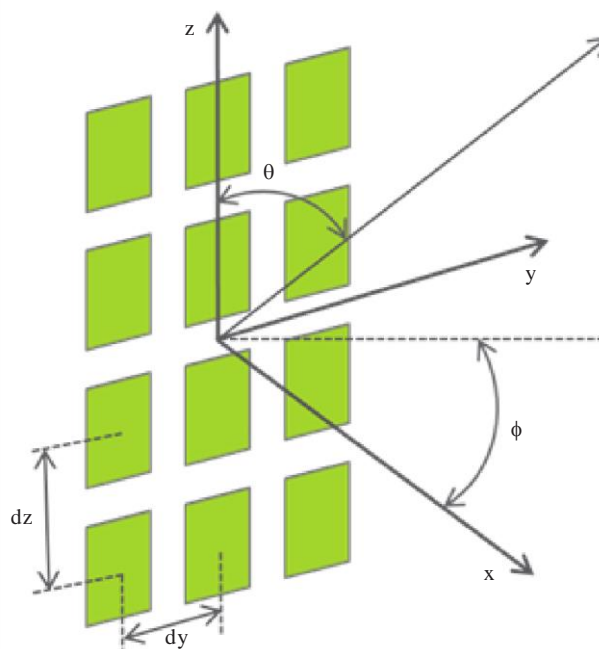
5 Aplicación del diagrama de antena con formación de haz para estaciones de base (BS) y equipos de usuario (UE) de las IMT

La Recomendación UIT-R F.1336 se ha aplicado hasta ahora para realizar estudios de compartición (véase el Informe UIT-R M.2292) y podría aplicarse para varias posibilidades de utilización de las IMT. En la mayoría de los sistemas IMT-2020 se utiliza la formación de haz, en particular para frecuencias más elevadas.

La antena con formación de haz se basa en un sistema de antenas y consta de una serie de elementos de radiación idénticos situados en el plano yz separados por una distancia fija (por ejemplo, $\lambda/2$), cuyos diagramas de radiación son idénticos y «se orientan» (con directividad máxima) a lo largo del eje x. Se utiliza una función de ponderación para orientar el haz en varias direcciones. La ganancia total de la antena es la suma (con arreglo a una escala logarítmica) de la ganancia del sistema de antenas y de la ganancia de los elementos. Este modelo se describe en 3GPP TR 37.842 y en la Sección 5.4.4.1 de 3GPP TR 37.840, tal como se especifica a continuación.

θ y ϕ se establecen con arreglo al sistema de coordenadas que se muestra en la Fig. 10.

FIGURA 10
Geometría del modelo de antena; θ : elevación, de 0 a 180 grados
 ϕ : Azimut, de -180 a 180 grados



Los elementos de radiación se sitúan uniformemente a lo largo del eje z vertical del sistema de coordenadas cartesianas. El plano x-y corresponde al plano horizontal. θ (cuyo valor oscila entre 0° y 180° , siendo 90° para el ángulo perpendicular a la apertura de la antena con varios elementos) corresponde al ángulo de elevación de la orientación de la señal. φ (cuyo valor oscila entre -180° y 180°) corresponde al ángulo acimutal.

Los sistemas de antenas pasivos (por ejemplo, los basados en la Recomendación UIT-R F.1336) y los sistemas de antenas avanzados activos (AAS) difieren, en particular, en que en el caso de los AAS la emisión no deseada (fuera de bloque) posee características de antena diferentes de las de la emisión deseada (en bloque).

Los sistemas IMT que utilizan AAS controlarán todas las señales que se transmiten a cada elemento de las antenas de un sistema de antenas, con objeto de formar y orientar el diagrama de emisión de la antena conforme a lo deseado, por ejemplo, un haz estrecho orientado a un usuario. Ello da lugar a una emisión deseada relacionada con la antena. La señal no deseada, provocada por la modulación OOB del transmisor, los productos de intermodulación y los componentes de la emisión no esencial, no estará sujeta al mismo tipo de relación con la antena y tendrá un diagrama de emisión diferente. Los AAS no relacionados poseen un diagrama de antena de emisión similar al de un solo elemento de antena.

En una situación de bandas de frecuencias adyacentes en la que las IMT constituyen el sistema interferente, puede realizarse la hipótesis de que el diagrama de antena para la emisión no deseada es similar al de un único elemento de antena. Para las emisiones del sistema IMT en la anchura de banda del canal será necesario simular el diagrama de antena compuesto.

En una situación de bandas de frecuencias adyacentes en la que las IMT constituyen el sistema interferido y se calcula la interferencia en el canal adyacente, puede realizarse la hipótesis de que el diagrama de antena es similar al de un único elemento de antena. Para la interferencia en la anchura de banda de canal del sistema IMT, será necesario simular el diagrama de antena compuesto.

El modelo del sistema de antenas AAS viene determinado por el diagrama de los elementos del sistema, el factor del sistema y las señales aplicadas al sistema de antenas. El diagrama de cada elemento y el diagrama de antena compuesto se describen en las secciones siguientes.

5.1 Diagrama de un elemento

CUADRO 3

Diagrama de los elementos de un modelo de sistema de antenas

Diagrama de radiación horizontal	$A_{E,H}(\varphi) = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right] dB$
Anchura de banda horizontal de 3dB de un elemento/grado (φ_{3dB})	Parámetro de entrada
Relación lóbulo frontal-lóbulo posterior: A_m y SLA_v	Parámetro de entrada
Diagrama de radiación vertical	$A_{E,V}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right] dB$
Anchura de banda vertical de 3dB de un elemento/grado (θ_{3dB})	Parámetro de entrada
Diagrama de un elemento	$A_E(\varphi, \theta) = G_{E,max} - \min \{ - [A_{E,H}(\varphi) + A_{E,V}(\theta)], A_m \}$
Ganancia de un elemento (dBi), $G_{E,máx}$	Parámetro de entrada

5.2 Diagrama de antena compuesto

En el Cuadro 4 se representa la obtención del diagrama de antena compuesto, $A_A(\theta, \varphi)$. $A_A(\theta, \varphi)$ es el diagrama de antena con formación de haz resultante de la suma logarítmica de la ganancia del sistema de antenas, $10\log_{10}\left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m}\right)^2$, y la ganancia de un elemento $A_E(\theta, \varphi)$. El diagrama compuesto relativo a la antena de la estación de base deberá utilizarse si el sistema de antenas presta servicio a un UE, o a varios, con un haz o varios; el parámetro i representa cada haz.

CUADRO 4

Diagrama de antenas compuesto para la formación de haz respecto de una BS y un UE

Configuración	Varias columnas ($N_V \times N_H$ elementos)
Diagrama de radiación compuesto relativo al sistema de antenas, en dB $A_A(\theta, \varphi)$	<p>Para el haz i:</p> $A_{A,Beam_i}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10\log_{10}\left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m}\right)^2$ <p>El vector de superposición viene dado por la expresión siguiente:</p> $v_{n,m} = \exp\left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi\left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos(\theta) + (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi)\right)\right),$ <p>$n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H;$</p> <p>y el factor de ponderación:</p> $w_{i,n,m} = \frac{1}{\sqrt{N_H N_V}} \exp\left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi\left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin(\theta_{i,tilt}) - (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos(\theta_{i,tilt}) \cdot \sin(\varphi_{i,scan})\right)\right) \sqrt{}$
Configuración del sistema de antenas (fila \times columna)	Parámetro de entrada
Separación horizontal del elemento de radiación d/λ	Parámetro de entrada
Separación vertical del elemento de radiación d/λ	Parámetro de entrada
Ángulo de inclinación descendente (grados)	Parámetro de entrada

6 Aplicación de la información de tráfico IMT

En la mayoría de los estudios de simulación Monte-Carlo en los que se tienen en cuenta sistemas de IMT avanzadas se realiza la hipótesis de un modelo de tráfico con memoria intermedia completa. Ello conlleva suponer que las estaciones de base siempre transmiten/reciben usando todos los bloques de recursos. En el Informe UIT-R M.2241 se menciona que ese no es el caso en las redes OFDM desplegadas, puesto que la transmisión del 100% de los bloques de recursos de frecuencia durante el 100% del tiempo provoca la saturación de la célula y el fallo del servicio para muchos usuarios. En consecuencia, las estaciones de base transmiten en la mayoría de las ocasiones utilizando únicamente una parte de los bloques de recursos disponibles.

En la presente Recomendación (Sección 7) se proporcionan orientaciones sobre el funcionamiento eficaz de las redes IMT, tanto si el sistema IMT es el sistema interferido como si actúa como sistema interferente combinado.

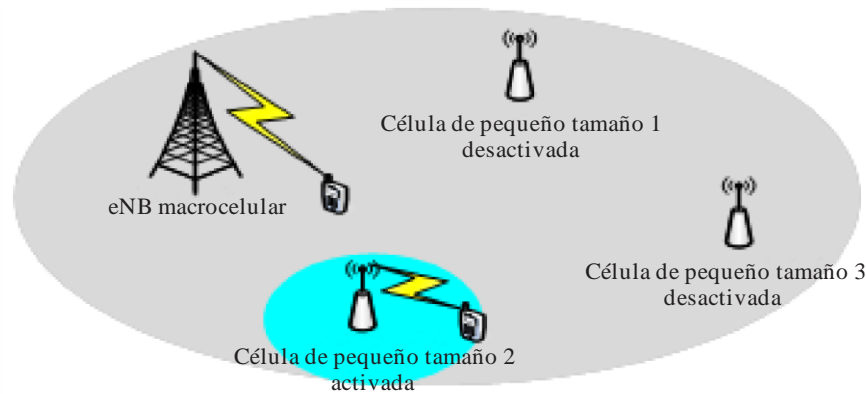
La carga de una red IMT depende de una serie de factores, en particular el comportamiento del usuario, las aplicaciones y las posibles modalidades de despliegue. Para simplificar, la carga de red se modeliza variando estadísticamente las estaciones de base con carga plena que transmiten simultáneamente y/o el número de las mismas. Ello se ha presentado como factor de actividad de las estaciones de base en la documentación pertinente del UIT-R, en particular en el Informe UIT-R M.2292. La modelización de la carga de red IMT puede depender de la modalidad de compartición. Por ejemplo, la modelización de la carga de red con respecto a la modelización de la interferencia puede depender de factores tales como el tamaño de la zona en la que se combina la interferencia.

7 Determinación de la interferencia combinada

La configuración de la simulación descrita en la Sección 3 de esta Recomendación permite determinar la interferencia combinada de varias estaciones de base y/o UE. En consecuencia, cabe deducir que el simulador siempre calcula inherentemente la interferencia combinada de la red IMT al sistema interferido. Sin embargo, en función de la modalidad de coexistencia, deberían tenerse en cuenta asimismo los aspectos siguientes:

- Las BS se modelizan suponiendo que transmiten con plena potencia, o que no transmiten, con arreglo a una probabilidad de carga, es decir, el $x\%$ de las BS se seleccionan aleatoriamente como transmisoras, y el resto no transmite. Véase la Sección 6. El valor de x puede ser un valor numérico o escogerse aleatoriamente en una gama relativa a cada configuración instantánea.
- Si los estudios de compartición requieren simulaciones con un gran número de estaciones de IMT, la aplicación de la modelización anteriormente descrita podría durar demasiado tiempo. En tales casos, los datos estadísticos de las emisiones del sistema IMT podrían modelizarse y recopilarse para un segmento representativamente amplio de la red IMT. Los datos estadísticos recopilados de ese segmento pueden utilizarse ulteriormente para calcular la interferencia de varios segmentos que posean características de interferencia equivalentes, habida cuenta de la variación de las modalidades de despliegue del sistema IMT en amplias regiones. Deberá examinarse especialmente la variación del ángulo de interferencia de salida y de llegada en el sistema interferido en función de las características geográficas de la amplia región de que se trate. Cabe destacar que la simplificación de la aplicación no debería dar lugar a una desviación de los datos estadísticos relativos a las emisiones del sistema IMT resultantes con respecto a la aplicación directa de esta metodología.
- Las células IMT de pequeño tamaño pueden activarse/desactivarse con respecto a amplias escalas temporales, de forma parcialmente estática o dinámica, lo que puede incidir en la probabilidad de carga. Ello podría precisar la inclusión del factor temporal en el proceso de simulación. El método de activación/desactivación puede reducir la interferencia a otras células vecinas de pequeño tamaño, o a otros sistemas, al utilizar el mismo canal de frecuencias o el canal adyacente (véase la Fig. 11). Por otro lado, los métodos de activación/desactivación de células de pequeño tamaño también pueden brindar ventajas en términos de ahorro energético. En 3GPP RP-130811 [3], 3GPP TR 36.873 [4], 3GPP TR36.897 [5] y 3GPP TR 36.872 [1] se proporciona información pormenorizada a tal efecto.

FIGURA 11

Método de activación/desactivación de células de pequeño tamaño

M.2101-11

- Para la simulación del funcionamiento en TDD, la transmisión de la estación de base en el enlace descendente tiene lugar únicamente durante ciertos periodos de tiempo, lo que reduce la potencia promedio de la estación de base a lo largo de un intervalo. No obstante, ese efecto no se tiene en cuenta en la modelización descrita en la presente Recomendación.

El despliegue de red será más flexible en el futuro debido a la variedad de requisitos de servicio existentes; el tráfico de datos de gran velocidad tiene lugar principalmente en regiones específicas de puntos de acceso; en consecuencia, cabe tener en cuenta interferencia parcial en algunas zonas a los efectos de cálculo de la interferencia combinada.

8 Demostración de los resultados provisionales de la modelización IMT

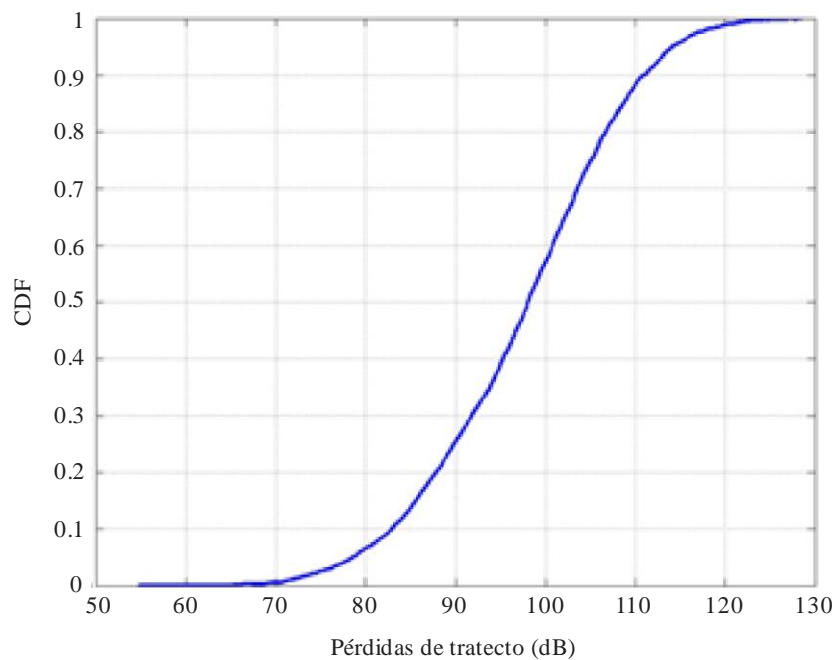
Al modelizar los sistemas IMT es probable que un mismo estudio realizado por varias partes arroje resultados iniciales diferentes. Para comparar las aplicaciones simuladas del sistema IMT cabe utilizar algunos resultados intermedios. Entre los parámetros que pueden utilizarse cabe destacar:

- la distribución de la potencia de transmisión;
- la distribución de las interferencias interna y externa;
- la distribución de la SINR;
- la distribución de la potencia de transmisión;
- la distribución de las pérdidas de acoplamiento de trayecto (con inclusión de las ganancias de antena de transmisión y de recepción, las pérdidas de propagación y el desvanecimiento).

Se recomienda generar al menos dos de los resultados provisionales anteriormente mencionados. En la Fig. 12 se muestra un ejemplo de resultado provisional para la distribución de las pérdidas de trayecto. Dicho resultado intermedio ha de tenerse en cuenta para el conjunto íntegro de parámetros de entrada. De forma análoga podrían generarse otros resultados.

FIGURA 12

Ejemplo de distribución de las pérdidas de trayecto obtenida mediante la simulación de una red IMT



M.2101-12

9 Referencias

- [1] 3GPP TR 36.872 V12.1.0, Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Versión 12).
- [2] 3GPP TR 25.942 V10.0.0, Radio Frequency (RF) system scenarios (Versión 10).
- [3] 3GPP RP-130811, 3GPP Work Item Description, Study on 3D-channel model for Elevation Beamforming and FD-MIMO studies for LTE.
- [4] 3GPP TR 36.873 V12.0.0, Study on 3D channel model for LTE (Versión 12).
- [5] 3GPP TR 36.897 V0.3.1, Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE (Versión 13).
- [6] 3GPP TS 36.104 V12.7.0, Base Station (BS) radio transmission and reception (Versión 12).
- [7] 3GPP TS 36.101 V12.7.0, User Equipment (UE) radio transmission and reception (Versión 12).
- [8] H. Houas, Y. Louet, E. Fournier y Y. Maigron, *Distribution of microcells for cellular mobile networks*, *IEEE VTC Nanjing*, 15-18 de mayo de 2016.

Adjunto 1 al Anexo 1

Aspectos relativos a los parámetros que determinan la distribución gamma-varianza (de Bessel) en los emplazamientos de micro BS

Al distribuir el emplazamiento de células de pequeño tamaño en la zona de una macrocélula determinada:

- 1) Ha de establecerse un número (promedio) de agrupaciones de células de pequeño tamaño para esa zona. Este parámetro puede obtenerse al tener en cuenta inicialmente un mapa de estaciones de base macrocelulares (de forma hexagonal) en el que podría ubicarse una agrupación de células (de menor tamaño). Se representa mediante λ_p .
- 2) Ha de tenerse en cuenta un número (promedio) de células de pequeño tamaño para cada agrupación. Se representa mediante λ_o .
- 3) [1]⁵ denota la variación de γ en la gama $[-0,45, -0,3]$. En consecuencia, se recomienda trabajar con los valores mínimos/máximos de dicha gama.
- 4) La obtención del último parámetro, ω , debe llevarse a cabo de forma más pormenorizada, con arreglo a las etapas siguientes:
 - i) **Etapla 1:** el radio (promedio) de la agrupación, denotado con el parámetro R , es un parámetro más sencillo de configurar por poseer un significado físico. Dicho parámetro puede considerarse el radio de la zona (con forma de disco) en la que se encuentran las células de pequeño tamaño (con una elevada probabilidad) a fin de garantizar la aplicación esperada al usuario. Dicho radio también conlleva el establecimiento del centro de la agrupación.
 - ii) **Etapla 2:** puesto que el radio R de la agrupación se obtiene inicialmente a partir de la función-R⁶ pertinente, cuyos parámetros de entrada son ω y γ , habida cuenta de que γ es un parámetro conocido y ω es desconocido, es posible elaborar un cuadro de correspondencia para asociar a cada par (γ, R) la escala ω desconocida.

Por último, estos cuatro parámetros permiten escoger un conjunto aleatorio de muestras de NSVGP, teniendo en cuenta que el establecimiento del proceso se basa en la generación de un conjunto de puntos de Poisson «principales» (centros de las agrupaciones) con intensidad λ_p . Posteriormente, cada punto principal se sustituye por una agrupación aleatoria de puntos, siendo el número de puntos de cada agrupación aleatorio con arreglo a una distribución de Poisson (λ_o), y situándose los puntos de forma independiente y uniforme con respecto al núcleo de una función gamma-varianza. Dicho núcleo viene dado por γ y ω .

Una vez que se han definido los parámetros que determinan esta distribución puede describirse estadísticamente (a través de la función de densidad de probabilidad pdf) la distribución gamma-varianza de Bessel. Habida cuenta de que los puntos de derivación en cada agrupación se generan con arreglo a una distribución normal mixta varianza-media, es decir, una distribución normal y distribución gamma cuya función de densidad de probabilidad (pdf) f es

$$f(x; k, \theta) = \frac{x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}}}{\Gamma(k)\theta^k}$$

⁵ *Distribution of microcell base stations within cellular networks*, IEEE VTC mayo de 2016, Nanjing.

⁶ «R-language» (spatstat package, <http://spatstat.github.io>).

siendo $\Gamma(k) = \frac{e^{-\gamma k}}{k} \prod_{n=1}^{+\infty} \left(1 + \frac{k}{n}\right)^{-1} e^{\frac{k}{n}}$ y $\gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \ln(n)\right)$,

cabe destacar que θ y k guardan relación con el resto de parámetros descritos en secciones anteriores por medio de la fórmula siguiente: $k = \gamma + 1$ y $\theta = \frac{1}{2\omega^2}$.

Adjunto 2 al Anexo 1

Técnica de envoltura

Con objeto de analizar el funcionamiento de una red celular sin que se produzcan efectos perturbadores como consecuencia de las restricciones debidas a los efectos en los bordes, es necesario tener en cuenta una red celular infinita. Una forma de lograrlo es utilizar una técnica de «envoltura» en la que la agrupación de células original se «envuelve» formando una superficie toroidal.

En la Fig. 13 se representan las características de una estructura celular con envoltura formada por una agrupación de 19 emplazamientos de estaciones de base (57 células), repetida en seis ocasiones. Cabe destacar que la agrupación celular inicial permanece en la situación central, con seis agrupaciones situadas en torno a este conjunto central.

En el modelo de envoltura examinado, para la señal o la interferencia de cualquier estación móvil con respecto a una célula determinada se realiza la hipótesis de que esa estación móvil se sitúa en la agrupación celular inicial y la estación de base en cualquiera de las siete agrupaciones. Las pérdidas de acoplamiento de trayecto desde cualquier estación móvil a cualquier estación de base pueden obtenerse mediante el proceso siguiente:

- 1) Definir un sistema de coordenadas en el que el centro de la célula 0 se sitúe en (0,0).
- 2) Tener en cuenta las distancias y los ángulos de trayecto enumerados a continuación utilizados para calcular las pérdidas de trayecto y las ganancias de antena de una estación móvil situada en (x, y) con respecto a una estación de base situada en (a, b):

distancia entre (x,y) y (a,b);

distancia entre (x,y) y $(a + 3,5 * D, b + 1,5 * \sqrt{3} * D)$

distancia entre (x,y) y $(a - 0,5 * D, b + 2,5 * \sqrt{3} * D)$

distancia entre (x,y) y $(a - 4 * D, b + \sqrt{3} * D)$;

distancia entre (x,y) y $(a - 3,5 * D, b - 1,5 * \sqrt{3} * D)$

distancia entre (x,y) y $(a + 0,5 * D, b - 2,5 * \sqrt{3} * D)$

distancia entre (x,y) y $(a + 4 * D, b - \sqrt{3} * D)$,

siendo D la distancia entre los emplazamientos de las estaciones de base.

- 3) Considerar que los valores de las pérdidas de acoplamiento (máx. {pérdidas de propagación + desvanecimiento + ganancias de antenas, MCL}) se calculan para las distancias/los ángulos de trayecto anteriormente especificados y que el valor mínimo se escoge para utilizarlo a los efectos de configuración instantánea de la simulación.

FIGURA 13

Envoltura con '7' agrupaciones de 19 emplazamientos de estaciones de base (57 células) con respecto a las características toroidales de la superficie de envoltura

