

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R BT.2136-0**  
(12/2020)

**Evaluación de la interferencia a la  
radiodifusión de televisión digital terrenal  
de otros servicios mediante la  
simulación de Montecarlo**

**Serie BT**  
**Servicio de radiodifusión**  
**(televisión)**



## 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 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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	<b>Servicio de radiodifusión (televisión)</b>
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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, 2021

© UIT 2021

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 BT.2136-0\*

**Evaluación de la interferencia a la radiodifusión de televisión digital terrenal de otros servicios mediante la simulación de Montecarlo**

(2020)

**Cometido**

En esta Recomendación se define la metodología que debe utilizarse para evaluar la interferencia causada a la radiodifusión de televisión digital terrenal (RTDT) por otros servicios, en los casos en que se emplee la simulación de Montecarlo. También se proporcionan orientaciones sobre cómo pueden interpretarse los resultados de dicha simulación, habida cuenta de los criterios de protección orientativos que figuran en la Recomendación UIT-R BT.1895.

**Palabras clave**

Calidad de servicio, intervalo de tiempo, Montecarlo, probabilidad de interferencia, probabilidad de interrupción, RTDT

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que el Artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) atribuye una serie de bandas de frecuencias a título primario al servicio de radiodifusión terrenal;
- b) que el servicio de radiodifusión terrenal se ha planificado sobre una base de limitación del ruido, teniendo en cuenta el ruido intrínseco del receptor y el ruido radioeléctrico externo;
- c) que los servicios de radiodifusión también pueden planificarse sobre una base de limitación de la interferencia;
- d) que la Recomendación UIT-R P.372 describe niveles de ruido radioeléctrico externo, aplicables a la planificación de los servicios de radiodifusión;
- e) que la Recomendación UIT-R SM.1757 y el Informe UIT-R SM.2057 facilitan orientaciones acerca de los requisitos de protección de los distintos servicios de radiocomunicaciones en lo que respecta a las emisiones combinadas de dispositivos que utilizan tecnología de banda ultraancha;
- f) que la Recomendación UIT-R BT.1895 reconoce los principios anteriores y proporciona directrices con el objetivo de garantizar que la interferencia total causada por todas las radiaciones y emisiones de los servicios de radiocomunicaciones y de otras fuentes de emisión de radiofrecuencias a los receptores de radiodifusión no superen los límites específicos de potencia de ruido total del sistema receptor, degradando así la calidad de funcionamiento de los sistemas de radiodifusión terrenal más allá de unos niveles aceptables;
- g) que los criterios de protección de las aplicaciones de radiodifusión dentro de los servicios se han especificado en las Recomendaciones UIT-R correspondientes (véanse las Recomendaciones UIT-R BT.1368 y UIT-R BT.2033) y en acuerdos regionales como el GE-06;

---

\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones introdujo en 2021 modificaciones de redacción en esta Recomendación, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

- h) que, para evaluar la interferencia causada a la RTDT, puede utilizarse un enfoque «determinista» o un enfoque «probabilístico», teniendo presente que el primero, si bien es sencillo, no siempre proporciona una evaluación integral de los supuestos de interferencia posibles;
- i) que la simulación de Montecarlo se utiliza cada vez más en el marco de algunos servicios, especialmente para evaluar su compatibilidad con otros sistemas de radiocomunicaciones;
- j) que la metodología de simulación de Montecarlo, utilizada para evaluar la compatibilidad entre sistemas de radiocomunicaciones, permite calcular la probabilidad media de interferencia, o la pérdida media de calidad de funcionamiento, en un momento preciso y no así la interferencia que puede producirse en un intervalo concreto debido a los cambios que se producen con el paso del tiempo, por ejemplo, en la posición relativa y/o la potencia de los transmisores en la red interferente;
- k) que, a diferencia de otros sistemas de radiocomunicaciones, el servicio de radiodifusión no puede reenviar datos que no ha logrado recibir, ni puede adaptar la velocidad binaria al estado del canal de radiofrecuencias, por lo que la calidad de servicio (QoS) depende en gran medida de la calidad de la señal en el punto de recepción;
- l) que el criterio aplicable a una recepción satisfactoria de RTDT consiste en que el servicio correspondiente se reciba casi sin errores y que la probabilidad de interrupción del mismo, de acuerdo con una simulación de Montecarlo, equivalga a la probabilidad de que se produzcan uno o más eventos de interferencia en la señal recibida (por ejemplo, una imagen) en una hora;
- m) que, por las razones expuestas *supra* (véanse los apartados *j*), *k*) y *l*)), en el caso de la RTDT, el resultado obtenido de la simulación de Montecarlo puede requerir un procesamiento ulterior, para tener en cuenta la evolución del estado de la red interferente en un intervalo de tiempo determinado;
- n) que, en los casos en que se consideran nuevas atribuciones, suelen requerirse estudios de compartición y compatibilidad entre servicios de radiocomunicaciones;
- o) que, en dichos estudios, es preciso facilitar los valores de los parámetros técnicos de los sistemas de los dos servicios objeto de análisis,

*reconociendo*

las obligaciones que recaen sobre las administraciones con arreglo a los Artículos 42 y 45 de la Constitución de la UIT (números CS 193, CS 197, CS 198 y CS 199) para garantizar la disponibilidad continua del espectro de radiofrecuencias y protegerse frente a las interferencias perjudiciales,

*observando*

- a) que en el Informe UIT-R SM.2028 – Metodología de simulación Monte Carlo para su aplicación en estudios de compartición y compatibilidad entre distintos servicios o sistemas de radiocomunicaciones, se describe una metodología de simulación de Montecarlo aplicable a las radiocomunicaciones;
- b) que el Informe UIT-R BT.2469, sobre las características de los sistemas de radiodifusión digital terrenal en la banda de frecuencias 174-230 MHz, y el Informe UIT-R BT.2383, relativo a las características de los sistemas de radiodifusión de televisión digital terrenal en la banda de frecuencias 470-862 MHz, facilitan parámetros para el servicio de radiodifusión a efectos de su aplicación en estudios de compartición y compatibilidad;
- c) que en el Informe UIT-R BT.2470, concerniente a la utilización de la simulación de Montecarlo para la elaboración de modelos de interferencia a la RTDT, se proporcionan datos adicionales y ejemplos sobre la utilización de la simulación de Montecarlo para la elaboración de modelos de interferencia a la recepción de RTDT, con miras a su uso en estudios de compartición y compatibilidad entre sistemas de RTDT y otros servicios de radiocomunicaciones;

d) que en el Informe UIT-R BT.2265, que incluye directrices para la evaluación de la interferencia causada al servicio de radiodifusión, se esbozan posibles métodos de protección de la radiodifusión contra las interferencias causadas por otros servicios, así como por aplicaciones y/o dispositivos desprovistos de la correspondiente atribución de frecuencias, y se proporcionan orientaciones para ayudar a las administraciones a planificar la utilización del espectro de forma eficaz;

e) que la Recomendación UIT-R M.1634 – Protección contra la interferencia causada a los sistemas del servicio móvil terrestre que utilizan la simulación de Montecarlo con aplicación a la compartición de frecuencias, constituye una fuente de información sobre la utilización del método de análisis de Montecarlo y recomienda el uso de un enfoque probabilístico para evaluar la posibilidad de interferencia;

f) que la Recomendación UIT-R M.2101 – Modelización y simulación de redes y sistemas IMT con miras a su utilización en estudios de compartición y compatibilidad, contiene una metodología de modelización y simulación de redes IMT, que puede utilizarse en estudios de compartición y compatibilidad entre IMT y otros sistemas y/o aplicaciones. Como tal, no hace ninguna suposición en cuanto a los parámetros de los sistemas ni a la modelización de esos otros sistemas o aplicaciones y se limita estrictamente a facilitar información para los sistemas IMT,

*recomienda*

1 que la metodología descrita en el Anexo 1 a la presente Recomendación se utilice en los estudios basados en la simulación de Montecarlo cuyo objetivo sea evaluar la interferencia causada a la RTDT por otros servicios;

2 que, en dichos estudios, se apliquen los parámetros relativos al servicio de radiodifusión que figuran en el Anexo 2.

Esta Recomendación incluye los siguientes Anexos:

**Anexo 1** – Metodología aplicable en la simulación de Montecarlo.

**Anexo 2** – Parámetros de RTDT aplicables en la simulación de Montecarlo.

## **Anexo 1**

### **Metodología aplicable en la simulación de Montecarlo**

#### **1 Introducción**

La simulación de Montecarlo es un método estadístico ampliamente utilizado para resolver problemas matemáticos complejos, elaborar modelos de fenómenos físicos y entender arduos problemas de la vida real, que no pueden modelizarse fácilmente con métodos analíticos. La simulación de Montecarlo se basa en el muestreo aleatorio para generar un gran número de eventos (experimentos), según el modelo aplicado, con miras a describir un fenómeno físico.

La simulación de Montecarlo se emplea cada vez más para evaluar las interferencias en los estudios de compatibilidad entre servicios móviles, fijos y de radiodifusión. Los métodos de simulación de Montecarlo aplicados a fin de evaluar las interferencias causadas y recibidas por sistemas bidireccionales permiten obtener información sobre la probabilidad media de interferencia en un momento dado. Normalmente, en los sistemas bidireccionales, esta probabilidad se traduce en una



merma de caudal de datos. Estas simulaciones son ideales para evaluar las interferencias (bloqueos) en los sistemas bidireccionales capaces de reenviar datos no recibidos. En este caso, se necesita un método apto para evaluar las interferencias causadas a los sistemas de radiodifusión de diseño unidireccional.

La utilización de la simulación de Montecarlo<sup>1</sup> para modelizar la probabilidad de interferencia a la RTDT plantea una serie de problemas singulares, ya que la calidad de servicio se mide en un intervalo de tiempo de una hora y la simulación de Montecarlo permite obtener la probabilidad de interferencia en un momento determinado.

Si la red objeto de modelización no cambia con el tiempo, es decir, si la posición de la fuente de interferencia es fija y la potencia transmitida es constante, solo se registra un evento y la probabilidad de interferencia calculada aplicando la simulación de Montecarlo es válida para cualquier intervalo de tiempo. No obstante, si la red varía (en el caso de las fuentes de interferencia fijas, la potencia varía en función de si están apagadas o encendidas), o las fuentes de interferencia de la red se desplazan o cambian de posición, la probabilidad de interferencia calculada solo es válida para un momento o estado de red determinado. Para calcular la probabilidad de que se produzcan uno o más eventos de interferencia en un intervalo de tiempo de una hora, es necesario un procesamiento ulterior, según se indica a continuación<sup>2</sup>.

## 2 Método

En las simulaciones de Montecarlo, en función del supuesto de interferencia, puede ser necesario generar un gran número ( $K$ ) de eventos (experimentos) para obtener un resultado fiable. Los eventos generados por la simulación de Montecarlo son independientes y los resultados que cada uno genera no influyen en los demás.

A fin de calcular la probabilidad de interferencia ( $p_I$ ), se parte de las matrices de datos generadas en relación con los niveles de señales útiles e interferentes recibidos ( $DRSS$  e  $IRSS$ ) y se aplica un umbral basado en un criterio de interferencia determinado ( $C/I$ ,  $C/(I+N)$ ,  $I/N$  o  $(N+I)/I$ ). La probabilidad de interferencia calculada para  $K$  eventos se expresa como sigue:

$$p_I = 1 - p_{NI} \quad (1)$$

siendo  $p_{NI}$  la probabilidad de que el receptor no reciba interferencias. Esta probabilidad puede calcularse para diferentes tipos de interferencias (emisiones no deseadas, bloqueo, sobrecarga e intermodulación) o para distintas combinaciones de estas.

Con objeto de evaluar la incidencia de los transmisores interferentes en la recepción de RTDT, debe utilizarse el criterio de interferencia  $C/(I+N)$ , siendo  $C/(I+N)$  la relación  $C/N$  del sistema de RTDT. Si la potencia de transmisión de la fuente de interferencia es constante, la  $p_{NI}$  puede calcularse como sigue:

$$p_{NI} = P\left(\frac{DRSS}{IRSS_{composite+N}} \geq \frac{C}{I+N}\right), \text{ para } DRSS > Rx_{sens}$$

<sup>1</sup> En el Informe UIT-R SM.2028 se proporciona información básica sobre la metodología de simulación de Montecarlo para su aplicación en estudios de compatibilidad entre sistemas de radiocomunicaciones y su utilización en el programa informático «Herramienta de ingeniería avanzada para el análisis Monte Carlo del espectro» (SEAMCAT, *spectrum engineering advanced Monte Carlo analysis tool*).

<sup>2</sup> El Informe UIT-R BT.2470 contiene más información sobre el método de Montecarlo descrito en la presente Recomendación, así como ejemplos de cálculos.

$$= \frac{\sum_{i=1}^M 1\left\{\frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N}\right\}}{M} \quad (2)$$

siendo:

$$1\{condición\} = \begin{cases} 1, & \text{si la condición se cumple} \\ 0, & \text{si no se cumple} \end{cases}$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)}$$

$DRSS$  : nivel de señal útil recibido

$IRSS$  : nivel de señal interferente recibido

$Rx_{sens}$ : sensibilidad del receptor

$M$  : número de eventos en los que  $DRSS > Rx_{sens}$ . Obsérvese que en la mayoría de los casos  $M < K$  (número de eventos generados)

$L$  : número de transmisores interferentes.

Cabe señalar que la condición  $\frac{DRSS}{IRSS_{composite}+N} \geq \frac{C}{I+N}$  permite comprobar si la suma de las señales interferentes recibidas de distintas fuentes de interferencia fijas causa interferencia al receptor de RTDT, en un momento dado.

La degradación de la recepción de la RTDT en presencia de señales interferentes puede calcularse fácilmente como sigue:

$$\Delta p_I = P_I(N+I) - P_I(N) \quad (3)$$

siendo:

$P_I(N)$ :  $p_I$  en presencia únicamente de ruido

$P_I(N+I)$ :  $p_I$  en presencia de ruido e interferencia.

De la ecuación (2) se infiere claramente que  $P_I(N) = 0$ . En consecuencia, puede escribirse lo siguiente:

$$\begin{aligned} \Delta p_I &= P_I(N+I) \\ &= p_I \end{aligned} \quad (4)$$

De la ecuación (4) puede concluirse que la degradación de la recepción de la RTDT en presencia de señales interferentes es simplemente la  $p_I$  calculada en la simulación de Montecarlo como se describe en las ecuaciones (1) y (2).

Conviene señalar que la  $p_I$ , al ser una probabilidad media derivada de todas las muestras tomadas en la zona de simulación, dependerá en gran medida del supuesto de interferencia objeto de modelización. Por ejemplo, la  $p_I$  calculada en un píxel de 100 m  $\times$  100 m en el extremo de la zona de cobertura de RTDT será, debido a los bajos niveles de señal deseada, mucho mayor que la  $p_I$  calculada en toda la zona de cobertura de RTDT.

También es importante tener en cuenta que la  $p_I$  es un valor invariable en el tiempo. Si la aparición de interferencias ( $I$ ) y la ausencia de las mismas ( $NI$ ) se consideran los dos valores de una variable aleatoria  $X$  de una función de Bernoulli, que representa el estado de la interferencia, entonces puede escribirse lo siguiente:

$$\begin{aligned} P(X=I) &= p_I \\ P(X=NI) &= 1 - p_I \end{aligned}$$

La degradación de la probabilidad de localización de la recepción ( $\Delta p_{RL}$ ) de la RTDT puede calcularse como sigue:

$$\begin{aligned}\Delta p_{RL} &= p_{RL} - (p_{RL} - p_I) \\ &= p_I\end{aligned}\quad (5)$$

siendo:

$p_{RL}$ : probabilidad de localización de la recepción objetivo  
 $p_I = 1 - p_{NI}$ : probabilidad de interferencia calculada mediante una simulación de Montecarlo.

## 2.1 Fuentes de interferencia fijas

En el caso de las fuentes de interferencia fijas, es decir, cuando la fuente o fuentes de interferencia no se desplazan (por ejemplo, una estación base móvil), las interferencias en la zona de cobertura de RTDT suelen manifestarse en forma de agujeros (o espacios) en los que ya no puede garantizarse la QoS requerida a causa de las interferencias en cuestión. Estos agujeros suelen crearse cerca de los transmisores interferentes.

### 2.1.1 Cálculo de la probabilidad de interferencia a la recepción de RTDT en el caso de las fuentes de interferencia fijas con potencia de transmisión constante

En el caso de las fuentes de interferencia fijas con potencia de transmisión constante (es decir, invariable en el tiempo), solo se registra un evento y la probabilidad de interferencia calculada aplicando la simulación de Montecarlo es válida para cualquier intervalo de tiempo.

### 2.1.2 Cálculo de la probabilidad de interferencia a la recepción de RTDT en el caso de las fuentes de interferencia fijas con potencia de transmisión variable

Si la potencia de transmisión de la fuente de interferencia varía en el tiempo, en función de un ciclo de trabajo o de una distribución de probabilidad determinada, la  $p_{NI}$  no puede calcularse adecuadamente a partir de la ecuación (2), porque la calidad de servicio de la RTDT se evalúa en un intervalo de tiempo ( $TW$ ) de una hora. La ecuación (2) puede utilizarse únicamente si la potencia de transmisión de la fuente de interferencia es constante (véase el § 2.1.1).

Por ejemplo, si un transmisor interferente fijo, que transmite a potencia constante durante el 100% del tiempo, causa interferencia a un receptor de RTDT en una ubicación determinada, el resultado de la  $p_I$  calculada a partir de las ecuaciones (1) y (2) será 1 (100%). Ahora bien, si el mismo transmisor tuviera un ciclo de trabajo del 50%, es decir, estuviera apagado el 50% del tiempo y encendido el 50% restante, el resultado de la  $p_I$  calculada sería 0,5 (50%). Si el ciclo de trabajo fuera del 10%, el resultado sería 0,1 (10%), etc. Sin embargo, desde el punto de vista del espectador, la recepción de la RTDT se vería sistemáticamente afectada por el transmisor interferente, es decir,  $p_I = 1$  (100%) en todos los casos. En la práctica, el hecho de que la recepción de RTDT sufra interrupciones durante el 100% del intervalo de tiempo de una hora, o durante el 10% del mismo, no cambia la percepción del espectador, que experimenta una QoS inaceptable en ambos casos.

Este ciclo de trabajo también suele modelizarse como una reducción efectiva de la potencia transmitida por la estación base. Un ciclo de trabajo del 50% corresponde a un factor de actividad del 50%, lo que se modeliza como una reducción de 3 dB en la potencia y conlleva una disminución de la  $p_I$  calculada en comparación con la que se obtendría si la estación base transmitiera a máxima potencia. Este enfoque no es válido para los estudios relativos a la RTDT, ya que, con este método, el transmisor nunca se modeliza a su máxima potencia en un intervalo de tiempo de una hora.



En el supuesto de interferencia considerado anteriormente, se producirá un problema similar en los casos en que la potencia de transmisión de la fuente de interferencia varíe en el tiempo de acuerdo con una distribución de probabilidad determinada. Desde el punto de vista de la interferencia real a la RTDT, es necesario saber si la fuente de interferencia funciona o no a plena potencia en algún momento del intervalo de tiempo de una hora. En caso afirmativo, la probabilidad de que un receptor de RTDT esté sujeto a uno o más eventos de interferencia procedentes de una única fuente de interferencia puede estimarse suponiendo que la fuente en cuestión funcione a máxima potencia. Ello se aplica a los casos en que existe una única fuente de interferencia. No obstante, si existen más fuentes de interferencia y todas ellas funcionan a máxima potencia, se sobreestimaría la probabilidad de interferencia, debido a la suma de potencias ( $IRSS_{composite}$ ). En tal caso, la  $p_I$  real se situaría entre la correspondiente a una única fuente de interferencia y la calculada para varias las fuentes de interferencia operativas a plena potencia ( $p_I^{single} < p_I < p_I^{multiple}$ ).

Habida cuenta de las consideraciones que anteceden, la ecuación (2) se modifica para incluir la variación de la potencia de transmisión de la fuente de interferencia en el tiempo, teniendo asimismo presente el hecho de que un determinado transmisor interferente funciona a la máxima potencia en algún momento del intervalo de tiempo de una hora.

En consecuencia, al evaluar la interferencia causada por los servicios o sistemas de radiocomunicaciones a la RTDT en presencia de fuentes de interferencia fijas, la  $p_{NI}$  se calcula incluyendo las comprobaciones lógicas necesarias como sigue:

$$p_{NI} = P \left( \left( \frac{DRSS}{IRSS_{composite+N}} \geq \frac{C}{I+N} \right) \wedge (P_{MAX_{check}} = L) \right), \text{ para } DRSS > R_{x_{sens}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{1} \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite(i)+N} \geq \frac{C}{I+N}} \right) \wedge (P_{MAX_{check}(i)=L}) \right\}}{M} \quad (6)$$

siendo:

$$\mathbf{1}\{condición\} = \begin{cases} 1, & \text{si la condición se cumple} \\ 0, & \text{si no se cumple} \end{cases}$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)}$$

$$P_{MAX_{check}}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}(j)+N} \geq \frac{C}{I+N}} \right\}$$

$M$  = número de eventos en los que  $DRSS > R_{x_{sens}}$ . Obsérvese que en la mayoría de los casos  $M < K$

$L$  = número de transmisores interferentes

$IRSS_{P_{MAX}}$ : nivel de señal interferente recibido para la máxima potencia de transmisión invariable en el tiempo.

Obsérvese que:

$\frac{DRSS}{IRSS_{composite+N}} \geq \frac{C}{I+N}$  permite comprobar si la suma de las señales interferentes recibidas de distintas fuentes de interferencia fijas causa interferencia al receptor de RTDT, en un momento dado  $T_x$ .

$\frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}(j)+N} \geq \frac{C}{I+N}$  permite comprobar si el transmisor (j), que funciona a la máxima potencia, causa interferencia al receptor de RTDT dentro un intervalo de tiempo.

Cabe asimismo señalar que, para un momento dado  $i$ , los  $L$   $iRSS_{P_{MAX}^j}$  son variables independientes, siendo el índice  $j$  la  $j$ -ésima señal interferente recibida por el receptor afectado. Por tanto, una de estas señales interferentes  $L$   $iRSS_{P_{MAX}}$  predomina siempre por encima de todas las demás. El nivel  $iRSS_{P_{MAX}}$  predominante se denomina  $iRSS_{P_{MAX_{max}}}$ .

Para un momento dado  $i$ :

- si  $\frac{dRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX_{max}}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N}}$ , entonces  $P_{MAX_{check}}(i) = L$
- si  $\frac{dRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX_{max}}(i)+N} < \frac{C}{I+N}}$ , entonces  $P_{MAX_{check}}(i) = 0$

En consecuencia,

$$P_{MAX_{check}}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX}}(j) + N} \geq \frac{C}{I+N} \right\}$$

$$= \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX_{max}}(i) + N} \geq \frac{C}{I+N} \right\}$$

Entonces, la ecuación (6) puede reescribirse incluyendo las comprobaciones lógicas necesarias como sigue:

$$p_{NI} = \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{1} \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{iRSS_{composite}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \wedge \left( \frac{DRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX_{max}}(i)+N} \geq \frac{C}{I+N} \right) \right\}}{M} \quad (7)$$

### 2.1.3 Relación entre probabilidad de interferencia e I/N

El resultado de la simulación de Montecarlo facilita una probabilidad de interferencia  $p_i$ . En la Recomendación UIT-R BT.1895 se proporciona información orientativa sobre el incremento admisible de la interferencia (10% o 1%), dependiendo de si la fuente de interferencia reviste un carácter coprimario o no. La Recomendación UIT-R BT.1895 prevé unos valores de relación I/N de  $-10$  dB y  $-20$  dB, respectivamente. La probabilidad de causar interferencia con ambos valores es la misma en el 95% de las ubicaciones atendidas en el extremo de la zona de cobertura de RTDT, tal y como se indica en el Cuadro 1.

CUADRO 1

#### Probabilidad de interferencia requerida en un píxel de $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ en el extremo de la zona de cobertura de RTDT

Probabilidad de interferencia ( $p_I$ ) requerida en el 95% de las ubicaciones equivalente a la protección de un píxel de $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ en el extremo de la zona de cobertura de RTDT prevista en la Rec. UIT-R BT.1895			
$p_I = \Delta p_{RL}$ (%) (95% de las ubicaciones)	0,086	0,869	2,22
I/N equivalente (dB)	-20	-10	-6

NOTA 1 – Las relaciones I/N de  $-20$  y  $-10$  dB equivalen a los valores orientativos proporcionados en la Rec. UIT-R BT.1895. La I/N de  $-6$  dB es un valor que excede dicha Recomendación y que suele utilizarse en estudios de compatibilidad en algunas regiones.

NOTA 2 – El 95% de ubicaciones atendidas en el borde de la célula equivale a  $99,4 \leq X \leq 99,6$  (véase el Informe UIT-R BT.2470) dentro de la superficie de cada célula<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Jakes proporciona una estimación de la relación entre la cobertura en el borde de la célula y la cobertura en la zona en la publicación *Microwave Mobile Communications*, sección 2.5.3, pág. 126, IEEE press 1993.

## 2.2 Fuentes de interferencia en movimiento

Una fuente de interferencia en movimiento puede cambiar su:

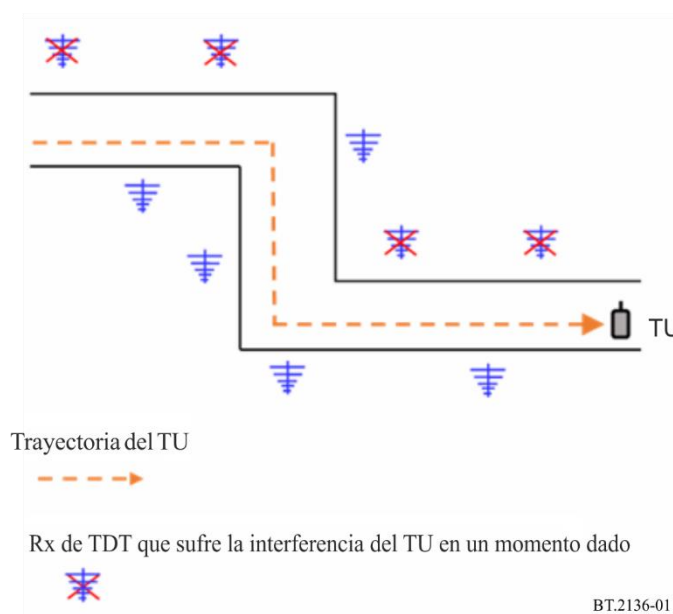
- potencia en el tiempo, de acuerdo con un plan de control de potencia;
- posición y ubicación en el tiempo.

El cambio de posición o ubicación puede causar interferencia a diferentes receptores de RTDT sucesivamente, o a un único receptor concreto, como ilustra la Fig. 1.

Obviamente, estas interferencias en la zona de cobertura de RTDT no se manifiestan en forma de agujeros (o espacios) en los que no puede garantizarse la QoS requerida. Por consiguiente, en el caso de las fuentes de interferencia en movimiento (por ejemplo, terminales de usuario móviles), el efecto de la interferencia en la probabilidad de localización de la recepción ( $P_{RL}$ ) no puede estimarse como se describe en la ecuación (5).

FIGURA 1

Efecto de una fuente de interferencia en movimiento (terminal de usuario) en la recepción de la RTDT



En consecuencia, al evaluar la incidencia de las fuentes de interferencia en movimiento en la recepción de RTDT, la situación se complica, pues cabe tener en cuenta su movimiento en el tiempo. Conviene aclarar que la  $p_I$  calculada en la simulación de Montecarlo, según se indica en las ecuaciones (1) y (2) o en las ecuaciones (1) y (6), no puede utilizarse directamente para evaluar el efecto de las fuentes de interferencia en movimiento sobre la recepción de RTDT, puesto que la  $p_I$  no proporciona información sobre la probabilidad de que un receptor de RTDT esté sujeto a uno o más eventos de interferencia en un intervalo de tiempo determinado.

### 2.2.1 Probabilidad de interrupción

Como se ha explicado en la sección anterior, en el caso de las fuentes de interferencia en movimiento conviene tener en cuenta la continuidad en el tiempo, convirtiendo la  $p_I$  calculada en la simulación de Montecarlo en una probabilidad que refleje mejor el efecto de la interferencia en la recepción de RTDT. Esta probabilidad se denomina «probabilidad de interrupción» y el método utilizado para calcularla se describe a continuación.

La  $p_I$  derivada de la simulación de Montecarlo, utilizando las ecuaciones (1) y (2) o las ecuaciones (1) y (6), proporciona información sobre la probabilidad de que un receptor de RTDT sufra interferencias en un momento dado, pero no permite calcular la probabilidad de que un receptor de RTDT esté sujeto a uno o más eventos de interferencia en un intervalo de tiempo determinado. Por tanto, es preciso ampliar los resultados de la simulación de Montecarlo a fin de tener en cuenta el periodo de tiempo necesario para evaluar la calidad de servicio de la RTDT, esto es una hora.

La probabilidad de interferencia ( $p_I$ ) es un valor invariable en el tiempo (constante). Si la aparición de interferencias ( $I$ ) y la ausencia de las mismas ( $NI$ ) se consideran los dos valores de una variable aleatoria  $X$  de una función de Bernoulli, que representa el estado de la interferencia, entonces puede escribirse lo siguiente:

$$P(X=I) = p_I$$

$$P(X=NI) = 1 - p_I$$

siendo:

$I$ : interferencia  
 $NI$ : no interferencia.

A continuación, se divide el intervalo de tiempo de una hora en « $n$ » segmentos. Si el valor de  $n$  se elige adecuadamente, cada uno de los segmentos puede considerarse un ensayo de Bernoulli (un experimento aleatorio), cuyo resultado puede ser « $I$ » o « $NI$ ». Estos resultados se denominan «eventos de interferencia». En el intervalo de tiempo de una hora pueden tener lugar « $n$ » ensayos de Bernoulli repetidos, partiendo obviamente del supuesto de que cada ensayo es independiente. Así pues, la probabilidad de que un receptor de RTDT esté sujeto a  $k$  eventos de interferencia en el intervalo de tiempo en cuestión se expresa como sigue:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p_I^k (1 - p_I)^{n-k} \quad (8)$$

siendo:

$p_I$ : probabilidad de interferencia calculada en la simulación de Montecarlo según las ecuaciones (1) y (2)  
 $n$ : número de ensayos independientes  
 $k$ : número de ensayos que dan lugar a eventos de interferencia.

La probabilidad de que un receptor de RTDT no sufra ningún evento de interferencia viene dada por el valor  $k = 0$  en la ecuación (8):

$$P(X = 0) = (1 - p_I)^n$$

Por último, la probabilidad de que un receptor de RTDT esté sujeto a al menos un evento de interferencia puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$P(X > 0) = 1 - (1 - p_I)^n$$

Esta probabilidad se denomina probabilidad de interrupción ( $p_d$ ) y se expresa como sigue:

$$p_d = 1 - (1 - p_I)^n \quad (9)$$

Dicha probabilidad  $p_d$  podría entenderse como la probabilidad de que el servicio de RTDT sufra una o más interrupciones no correlacionadas en un intervalo de tiempo determinado. El intervalo en cuestión debería corresponderse con el que se utiliza para evaluar la calidad de servicio de la RTDT que se considera aceptable para el telespectador (una hora).

## 2.2.2 Derivación de eventos independientes

Tanto el movimiento de las fuentes de interferencia (terminales de usuario) como el cambio entre distintas fuentes de interferencia (terminales de usuario) pueden generar eventos independientes.

### 2.2.2.1 Configuraciones de red independientes generadas por terminales de usuario en movimiento

Partiendo de un intervalo de tiempo dado y una distribución de velocidad de TU concreta, es posible calcular fácilmente la proporción de TU que se desplazan a una distancia determinada. En función de la distancia que recorren los TU y la distancia de descorrelación, el número de estados no correlacionados « $n$ », generados en un intervalo de tiempo por los TU, puede derivarse como sigue:

$$n = TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i} \quad (10)$$

siendo:

$D$ : distancia de descorrelación en metros

$V$ : velocidad en metros/segundo de los TU

$P$ : proporción de TU que se desplazan a una velocidad  $V$

$k$ : número de valores de velocidad

$TW$ : intervalo de tiempo en segundos (para la RTDT = 3 600 segundos).

### 2.2.2.2 Configuraciones de red independientes generadas por el planificador en redes móviles basadas en AMDFO/AMDF-PU

El planificador de enlace ascendente lleva a cabo la atribución de bloques de recursos físicos (BRF) para la transmisión en enlace ascendente a través de los TU y previa solicitud de estos últimos. La atribución de BRF por el planificador a un TU es independiente de las solicitudes anteriores del terminal y, por consiguiente, puede considerarse un estado independiente.

El número de estados independientes generados en un intervalo de tiempo por el planificador, a medida que recorre los TU registrados en la célula, viene dado por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{M}{A} \quad (11)$$

siendo:

$M$ : número máximo de TU activos por sector (o célula) en el intervalo de tiempo

$A$ : número medio de TU activos por sector (o celda) en la simulación de Montecarlo.

### 2.2.3 Determinación del número de configuraciones de red independientes en el intervalo de tiempo especificado

Según se indica en las dos secciones anteriores, el número de cambios de estados independientes  $n$  en el intervalo de tiempo especificado depende del número de fuentes de interferencia activas y de la distancia que debe recorrer una fuente de interferencia antes de que un evento de interferencia causado por ella misma adquiera un carácter independiente con respecto a un evento anterior. El número de eventos no correlacionados « $n$ », generados en un intervalo de tiempo por los TU, puede calcularse con ayuda de las ecuaciones (10) y (11):

$$n = \frac{M}{A} + TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i} \quad (12)$$

$M$ : número máximo de TU activos por sector (o célula) en el intervalo de tiempo

- $A$ : número medio de TU activos por sector (o celda) en la simulación de Montecarlo
- $D$ : distancia de descorrelación en metros
- $V$ : velocidad en metros/segundo de los TU
- $P$ : proporción de TU que se desplazan a una velocidad  $V$
- $k$ : número de valores de velocidad
- $TW$ : intervalo de tiempo en segundos (para la RTDT = 3 600 segundos).

Si los TU no se mueven en el intervalo de tiempo dado, ya sea porque son fijos, o porque el intervalo es muy corto (por ejemplo, 1 ms), el resultado de la suma será cero, o un valor muy cercano al cero, y el número de eventos vendrá determinado por la relación  $M/A$ . En consecuencia,  $M/A$  variará entre 1 y el número de TU activos en el intervalo de tiempo dado, lo que, en algunos casos, puede ser lo mismo.

Por ejemplo, si el estado de los TU cambia cada 1 ms y el intervalo de tiempo es corto (1 ms), entonces  $M = A = 1 = n$  y, en la ecuación (9),  $p_d$  equivaldrá a  $p_I$ .

Si el intervalo de tiempo es largo en relación con el ritmo al que la red cambia de estado, por ejemplo el intervalo en cuestión es de una hora (3 600 segundos), podría esperarse que un gran número de TU estuvieran activos. Dentro del intervalo de una hora, parte de los TU comprendidos en la célula podrían permanecer estacionarios, algunos podrían moverse dentro de la célula, otros podían desplazarse y abandonarla, y un cierto número podría entrar en ella. Lo que interesa es el número de TU que efectúan al menos una transmisión durante ese intervalo de tiempo. Todos y cada uno de los TU que transmiten dentro el intervalo, representados por el valor  $M$ , generan o contribuyen a al menos un evento. También es preciso tener en cuenta cuántos TU, representados por el valor  $A$ , se utilizan en las simulaciones de Montecarlo. Si solo se considerase un TU, se registrarían  $M$  eventos. Si se considerasen más TU activos en cualquier momento en las simulaciones de Montecarlo, habría que examinar el número de eventos generados, es decir  $M/A$ . Los valores  $M$  y  $A$  deberían ser adecuados para los sistemas y el entorno considerados en los estudios de compartición y compatibilidad.

#### 2.2.4 Probabilidad de interrupción e incidencia en la cobertura de RTDT

En el caso de las fuentes de interferencia fijas, según se indica en el § 2, la  $p_I$  calculada utilizando la simulación de Montecarlo representa una estimación de la degradación de la probabilidad de localización de la recepción ( $\Delta p_{RL}$ ). Es decir, si la  $p_I$  calculada en un píxel de 100 m  $\times$  100 m es del 2%, todos los receptores de RTDT pueden sufrir interferencias de fuentes de interferencia fijas en el 2% de la superficie del píxel. Las zonas afectadas por la interferencia se manifiestan en forma de agujeros (o espacios) fijos, en los que no puede garantizarse la QoS requerida, lo que muestra directamente el efecto de las interferencias en la cobertura de RTDT.

En el caso de las fuentes de interferencia móviles, la  $p_I$  calculada utilizando la simulación de Montecarlo no puede utilizarse directamente para evaluar el efecto de la interferencia en la cobertura de RTDT, ya que los efectos de dichas interferencias en la zona de cobertura de RTDT no se manifiestan en forma de agujeros (o espacios) fijos en los que no puede garantizarse la QoS requerida. Este es el motivo por el que se introdujo la  $p_d$  en el § 2.2.1, que es la probabilidad de que se produzca al menos un evento de interferencia en la señal recibida (por ejemplo, una imagen) en un intervalo de tiempo determinado. En otras palabras, la  $p_d$  es la probabilidad de que la QoS requerida no pueda garantizarse en el intervalo de tiempo en cuestión.

No obstante, es posible demostrar que existe una equivalencia entre la  $p_d$  y la  $\Delta p_{RL}$  para valores de  $p_d$  inferiores al 1% y, hasta el 3%, existe una buena correlación con la  $\Delta p_{RL}$  (véase el Informe UIT-R BT.2470). Para valores de  $p_d$  superiores, la amplia divergencia entre la  $p_d$  y la  $\Delta p_{RL}$  impide su comparación directa en beneficio de la  $p_d$ .



Sin embargo, al comparar la  $p_I$  calculada en el caso de las fuentes de interferencia fijas y la  $p_d$  calculada en el caso de las fuentes de interferencia en movimiento, es importante recordar que en este último caso las zonas afectadas por las interferencias no aparecen como zonas fijas. Dichas zonas comprenden superficies reducidas, que aparecen y desaparecen en cualquier punto de la zona de cobertura de RTDT. Esta circunstancia impide detectar las zonas afectadas por las interferencias y aplicar una técnica de atenuación adecuada para resolver o minimizar la interferencia a la RTDT.

## Anexo 2

### Parámetros de RTDT aplicables en la simulación de Montecarlo

#### CUADRO 2

#### Parámetros de RTDT

##### a) RTDT independiente del sistema <sup>(1)</sup>

Parámetros <sup>(2)</sup>	Unidad	Requisitos de la simulación
p.i.r.e.	dBm	Necesario
Altura de la antena transmisora	m	Necesario
Altura de la antena receptora	m	Necesario
Frecuencia central	MHz	Necesario
Ancho de banda del canal	MHz	Necesario para determinar el ancho de banda efectivo
Factor de ruido (F)	dB	Necesario
Potencia de ruido (Pn)	dBm	Necesario
Probabilidad de localización en el borde de la célula (LP)	%	Necesario para calcular el radio de cobertura
Probabilidad de localización en la zona de cobertura	%	Necesario para determinar la probabilidad de interferencia aceptable/permisible
Factor de confianza gaussiano para una probabilidad de cobertura en el borde de la célula del 95% ( $\mu_{95\%}$ )	%	Necesario para calcular el margen de desvanecimiento log-normal ( $l_m$ ) para el 95%
Desviación normalizada de pérdida por apantallamiento ( $\sigma$ )	dB	Necesario
Margen de desvanecimiento log-normal ( $L_m$ ) para el 95%	dB	Necesario para calcular la P media para LP=95%
P media para LP = 95%	dBm	Necesario para calcular el radio de cobertura
Pérdida del cable (Lcable)	dB	Necesario
Ganancia de la antena receptora (Giso)	dBi	Necesario
Radio de cobertura calculado con ayuda del modelo de propagación de la Rec. UIT-R P.1546 (inclinación del haz = 1° y 1,6°)	km	Necesario

CUADRO 2 (*fin*)

Parámetros <sup>(2)</sup>	Unidad	Requisitos de la simulación
Selectividad del canal adyacente (ACS)	dB	Necesario
Constante de Boltzmann (k)	J/K	Necesario para calcular la potencia de ruido
Temperatura absoluta (T)	K	Necesario para calcular la potencia de ruido

<sup>(1)</sup> Cabe la posibilidad de utilizar distintos valores de parámetros para distintos sistemas de RTDT y distintos países/regiones en función de sus requisitos y supuestos de planificación.

<sup>(2)</sup> Los parámetros aplicables a los sistemas de RTDT pueden consultarse en el Informe UIT-R BT.2383.

#### b) RTDT dependiente del sistema <sup>(3)</sup>

Parámetros	Unidad	Requisitos de la simulación
Ancho de banda efectivo	MHz	Necesario
Relación portadora/ruido ( $C/N$ ) en el borde de la célula	dB	Necesario para calcular el radio de cobertura
Criterio de protección ( $C/(N+I)$ ) <sup>(4)</sup>	dB	Necesario
Sensibilidad del receptor ( $P_{min}$ )	dBm	Necesario

<sup>(3)</sup> Los distintos países/regiones pueden aplicar distintos valores de parámetros en función de sus requisitos y supuestos de planificación.

<sup>(4)</sup> Los distintos países/regiones pueden optar por distintos criterios de protección (por ejemplo,  $C/I$  o  $I/N$ ).