

## TESIS DOCTORAL

# **Diseño y validación de la segunda generación del estándar de TDT con canal de retorno inalámbrico, para proveer conectividad a Internet en zonas rurales en Latinoamérica**

Doctorando: Ciro Radicelli

Director: Narcís Cardona Marcet

## **RESUMEN**

El acceso a Internet en zonas rurales de América Latina es deficiente, puesto que la población rural o no tiene acceso a esta tecnología o lo hace desde lugares públicos a una muy baja velocidad de conexión. Esta situación no sucede con la TV la cual es más popular y accesible que el Internet, la telefonía móvil, e incluso que la radio. Es por esto que se pretende utilizar las características de los servicios de difusión de TV, específicamente los de Televisión Digital Terrestre (TDT) a fin de proporcionar conectividad a Internet en lugares donde solo llega la señal de TV.

Es así que tecnologías de TDT como DVB-RCT publicada en Abril de 2001 por el Instituto de Normas de Telecomunicaciones Europeo (*ETSI - European Telecommunications Standards Institute*), que provee un canal de retorno inalámbrico dedicado en las bandas de VHF/UHF para el acceso concurrente desde muchos terminales interactivos de usuario usando técnicas TDMA/OFDMA. Así como DVB-T2 que fue publicado en 2008 por el foro de estandarización europeo (DVB) para transmitir eficientemente servicios avanzados de televisión como TV en alta definición (HDTV) o TV tridimensional (3D TV) utilizando modulación OFDM; permitirán diseñar un nuevo estándar de mejores prestaciones que RCT que aproveche las capacidades que dan robustez a DVB-T2 y al cual se lo llamará DVB-RCT2 (*Digital Video Broadcasting – Return Channel Terrestrial 2nd Generation*), el mismo que constaría de un canal de difusión (canal descendente) para recibir información desde el proveedor del servicio hasta el usuario final, utilizando para esto cualquier tecnología de TDT como ISDB-Tb, DVB-T o DVB-T2; mientras que para la comunicación inversa (canal ascendente) utilizaría propiamente la arquitectura DVB-RCT2 propuesta en este estudio de doctorado. Lo anteriormente mencionado

haría factible que este nuevo estándar pueda ser utilizado en toda Latinoamérica.

Para validar el diseño del estándar, se lo evaluará en términos de cobertura y capacidad con respecto a su predecesor DVB-RCT, y después se emulará en laboratorio las condiciones del canal RCT2. Posteriormente se realizarán estudios socio-económicos del nuevo estándar a fin de poder proporcionar servicios de conectividad a Internet en zonas rurales.

Por último, se analizará la posibilidad de utilizar redes inalámbricas 4G en la banda UHF de 700 MHz, así como en la banda de 1700 MHz (AWS).

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA TESIS**

El diseño de un nuevo estándar de canal de retorno de TDT DVB-RCT2 basado en las nuevas funcionalidades que presenta la tecnología de TDT de segunda generación DVB-T2, y en los principios de la tecnología con canal de retorno inalámbrico DVB-RCT, permitirá brindar servicios de conectividad a Internet en zonas rurales donde sólo llega la señal de televisión.

### **Objetivo General**

Diseñar un nuevo estándar de TDT con canal de retorno inalámbrico (DVB-RCT2) basado en las nuevas funcionalidades que presenta la tecnología DVB-T2, y en los principios de la tecnología con canal de retorno inalámbrico DVB-RCT, para brindar servicios de conectividad a Internet en zonas rurales.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar el estándar de TDT de segunda generación DVB-T2, así como el estándar de canal de retorno inalámbrico de primera generación DVB-RCT.
- Validar el diseño del estándar DVB-RCT2 propuesto.
- Emular en laboratorio las condiciones del canal RCT2.
- Estudiar el impacto de la posible implementación de DVB-RCT2, a fin de proporcionar servicios de conectividad a Internet en zonas rurales.
- Analizar el uso de redes celulares de cuarta generación (4G) como tecnología sustitutiva a la solución de TDT propuesta para zonas rurales.

## PRINCIPALES RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- ✓ Los sistemas de TDT ofrecen gran porcentaje de penetración y costos de despliegue más baratos, debido a la reutilización de infraestructura existente de la TV analógica y/o digital. Siendo además una interesante alternativa para brindar acceso a Internet, puesto que una vez que se tenga desplegada la infraestructura de TDT para recepción fija, se podrá reutilizar esta para proporcionar servicios de conectividad a Internet a zonas rurales.
- ✓ DVB-RCT2 ofrecerá un canal de retorno inalámbrico para la TDT, estará basado en DVB-T2 y adoptará características de DVB-RCT que harán de este un sistema flexible y robusto. De DVB-T2 utilizará el esquema de modulación 256-QAM lo que mejorará la capacidad de transmisión; usará los tamaños extendidos de FFT 16K y 32K con lo que se podrá ampliar la separación de los transmisores y por ende la cobertura; propondrá el manejo del mecanismo PAPR de Tonos Reservados que es compatible con la técnica de constelaciones rotadas con lo cual se aumentará la robustez de la señal, aunque en enlace ascendente no presenta el mismo rendimiento que en el enlace descendente puesto que no se utilizan todas las portadoras. Se usarán también las tramas FEF para brindar servicios adicionales, y se tendrá la capacidad de ofrecer hasta 4 canales de televisión en alta definición (HD) en un mismo multiplex. Con respecto a DVB-RCT adoptará su arquitectura, pero a diferencia de este, una nueva funcionalidad de DVB-RCT2 es que podría funcionar en el mismo canal que en el enlace descendente, pero perdiendo algo de capacidad. Por lo que mencionado anteriormente con DVB-T2 se pueden conseguir prestaciones muy superiores al estándar DVB-RCT.
- ✓ Para el envío de las peticiones de usuario hacia la estación base (enlace ascendente - UL), DVB-RCT2 utilizará un canal de retorno, adaptando la arquitectura de DVB-RCT a RCT2, mientras que para el caso contrario (enlace descendente - DL) se usará un canal de difusión basado en la arquitectura T2, lo que permitirá que DVB-RCT2 tenga áreas de cobertura similares a las obtenidas mediante DVB-T2, asumiendo recepción con antena fija ubicada en el tejado del usuario y teniendo servicios de interacción bajos.
- ✓ Las características anteriormente mencionadas permiten que DVB-RCT2 presente mejoras con respecto a DVB-RCT en lo referente a capacidad, mismas que se midieron mediante la comparación de la cantidad de Mbps que pueden ser transmitidos por cada tecnología, es así que al estar DVB-RCT2 basado en DVB-T2, se tienen capacidades de transmisión superiores a los otros estándares de TDT llegando a tener hasta 37,88 Mbps comparado con los 19,21 Mbps obtenidos por DVB-RCT.

- ✓ En lo referente a las mejoras en cuanto a relación portadora a ruido (CNR), se buscó siempre el menor valor para un mismo MODCOD, pudiendo observar que T2/RCT2 presentan la CNR más baja de todas las tecnologías estudiadas en esta tesina de máster, por ejemplo para un MODCOD robusto como QPSK  $\frac{1}{2}$ , DVB-RCT2 presenta una CNR de sólo 2,67 mientras que RCT tiene un valor de 4,6.
- ✓ Las mejoras en cuanto a cobertura, se obtuvieron mediante el análisis de las huellas generadas por cada tecnología, es así que se puede notar claramente en la gráficas conseguidas para esta tesis de doctorado que la cobertura de las tecnologías T2/RCT2, es superior a las de las tecnologías ISDB-Tb y DVB-RCT, esto en parte debido a que un valor de CNR reducido permite aumentar la cobertura.
- ✓ Para los ejercicios de cobertura e interferencia se ha considerado como escenario rural, el ubicado en la provincia de Chimborazo en donde se utilizaron como estaciones base de radiodifusión de TV las torres ubicadas en los cerros de dicha provincia en donde actualmente se encuentran transmisores de TV analógica. Para obtener propiamente las zonas de cobertura e interferencia se tomaron en cuenta los umbrales de CNR así como los valores de intensidad de campo previamente calculados, mismos que fueron cargados en el software ICS Telecom, con el cual se obtuvieron las coberturas del estándar de TV analógica y de la tecnología de TDT utilizada en Ecuador (ISDB-Tb), además de la cobertura e interferencias en enlace descendente de DVB-T y DVB-T2 en SFN, y la cobertura e interferencias en enlace ascendente de DVB-RCT y DVB-RCT2, en donde se estudió de una forma específica el comportamiento del estándar DVB-RCT2 tanto en canal de difusión como en canal de retorno, obteniendo resultados prometedores como se mencionó anteriormente en lo concerniente a mejoras en capacidad, CNR y cobertura.
- ✓ Mediante la evaluación ex ante de la posible implementación de la solución de TDT propuesta, se llegó a concluir que con esta nueva tecnología, se podría llegar a reducir la brecha digital existente en zonas donde la conexión a Internet es deficiente, permitiendo la utilización de aplicaciones TIC como aprendizaje, salud, gobierno en línea en zonas rurales, generando igualdad de oportunidades y fomentando la participación ciudadana, a más de reducir los costos de conexión a Internet en zonas rurales.
- ✓ AL realizar el análisis comparativo entre la tecnología de TDT propuesta y la posible tecnología sustitutiva a esta (4G LTE), se determinó que la provisión de Internet a zonas rurales de Latinoamérica, sería más efectiva, económica, fácil de implementar, y más amigable para el usuario, considerando en primer lugar que el estándar DVB-RCT2 propuesto es más rápido que la tecnología

4G LTE, y en segundo lugar que el equipamiento que el usuario necesita, en el caso de la tecnología celular de cuarta generación, es más costoso, mientras que en el caso de la tecnología DVB-RCT2, bastaría con tener una televisión que tenga incorporado el decodificador de TDT con canal de retorno, o en su defecto que a un televisor convencional se le conecte a dicho decodificador, con lo cual el manejo del equipo no supondría problema alguno para los usuarios, además que en una televisión se minimizan o eliminan problemas en cuanto al desgaste de componentes, como por ejemplo la batería en un teléfono móvil.