



IEEE 802.22 WRAN as an alternative to the development of ICTs in Cuba.

Ing. Osmany González de Juana¹, M.Sc. Ing. Óscar E. Rodríguez Ramírez², Ing. Luis Miguel Gato Díaz³.

¹Grupo de Electrónica para el Turismo GET, calle O e/ 23 y Humboldt, Vedado, La Habana, Cuba.

²Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, UTH CUJAE, La Habana, Cuba.

³Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, UTH CUJAE, La Habana, Cuba.

¹e-mail: damon13osm@gmail.com

ABSTRACT

Today the use of much of the radio spectrum allocated under license is inefficient due to the fixed allocation policies of the frequency bands. The FCC has been pushing for a rethinking of existing wireless network architectures. The basic principle for the design of these new networks proposed by the FCC is Cognitive Radio (CR). The WRANs (Wireless Regional Area Networks), detailed in the IEEE 802.22 standard, become the first worldwide effort to define a standard air interface based on CR techniques for the opportunistic use of TV bands under the premise that it does not interfere with primary services. The qualities and benefits offered by this model of communications make the deployment of this technology very attractive to assist the development of the telecommunications in Cuba. To accomplish this task, national studies are necessary to determine the level of feasibility of the standard. Due to their lack of existence, this work proposes an analysis of this nature. To do this, an in-depth review of the bibliography related to the specifications, approaches and current implementations of the standard is carried out. Simulations were also implemented using Radio Mobile software from WRANs operating in different environments to verify their performance in terms of radio coverage. In addition, a prototype of spectrum sensing for CR applications in WRANs is developed with the help of the MatLab tool, which is tested to validate its functionality and thus evidence the presence of TV White Spaces. As a result of this research, it is concluded that the IEEE 802.22 standard can be used in Cuba to collaborate in the development process of the ICTs, in order to promote the technological development of the country.

KEY WORDS: Cognitive Radio, TV White Spaces, Wireless Regional Area Network.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la explotación de gran parte del espectro radioeléctrico asignado bajo licencia se realiza de forma ineficiente debido a las políticas de asignación fija de las bandas de frecuencias. Como resultado, algunas bandas se utilizan intensivamente, mientras que otras están parcial o totalmente desocupadas la mayor parte del tiempo [1]. Para sustentar las demandas crecientes de las nuevas tecnologías y servicios de comunicaciones inalámbricas son necesarios esquemas de administración del espectro más eficientes. Por otro lado, el éxito de los servicios en las bandas de acceso libre ha motivado el desarrollo de novedosas tecnologías que posibilitan la utilización del espectro de una forma inteligente, coordinada y oportuna, sin perjudicar a los servicios existentes [1]. En el 2003, la FCC (Federal Communications Commission) emitió una NPRM (Notice of Proposed Rulemaking), donde apremia por el replanteamiento de las actuales arquitecturas de redes inalámbricas. El principio básico para el diseño de estas nuevas redes propuesto por esta entidad es Radio Cognitiva (Cognitive Radio, CR) [2].



Radio Cognitiva es un paradigma de la comunicación inalámbrica en la cual tanto las redes como los mismos nodos inalámbricos cambian los parámetros particulares de transmisión o de recepción para ejecutar su cometido de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados. Estas modificaciones están basadas, principalmente, en la observación de varios factores del entorno, tales como el espectro de radiofrecuencia, el comportamiento del usuario o el estado de la red [2]. La idea original de la radio cognitiva fue presentada por Joseph Mitola III y Gerald Q. Maguire Jr. en [3].

Desde hace unos pocos años es oficial una novedosa alternativa que ha despertado el interés de los gobiernos y empresas de numerosos países: las WRANs (Wireless Regional Area Networks), detalladas en el estándar IEEE 802.22, publicado en el mes de julio del 2011. Este es el primer esfuerzo a nivel mundial para definir una interfaz de aire estándar basado en las técnicas de Radio Cognitiva (CR) para el uso oportunista de las bandas de TV en una base de no interferencia. Lo que propone es aprovechar los espacios en blanco (frecuencias libres o canales sin utilizar) dentro de las bandas de televisión, para acceder a ellos de manera oportunista y mediante esta vía establecer comunicaciones, siempre con el compromiso de no causar obstrucción a los usuarios licenciados, para ello es necesario implementar métodos de CR.

Características que brinda 802.22 tales como las amplias zonas de cobertura de una red confiable y segura que ofrece significativas velocidades de transmisión soportando datos, video, y voz (Triple Play); una señal muy inmune a desvanecimientos, interferencias y efectos adversos del clima, que puede alcanzar más de 30 Km de distancia incluso en condiciones de NLOS (Non Line of Sight); un uso eficiente, racional y dinámico del espectro electromagnético; entre otros aspectos, hacen de esta variante de la IEEE una solución a tener muy en cuenta en países subdesarrollados donde el despliegue de redes de otra tipología se dificulta por motivos financieros o geográficos.

Dada la situación económica y geográfica de Cuba hace que resulte muy atractivo el desarrollo de esta tecnología en el país. La escasa inversión necesaria para su desarrollo en comparación con otras soluciones y la abundancia de localidades rurales de difícil acceso son aspectos que ratifican lo anteriormente expuesto. Además, el proceso de digitalización de la televisión y futuro apagón analógico prometen un significativo dividendo espectral, el cual puede ser aprovechado por las WRANs. Para ello, se hace precisa y necesaria la existencia de trabajos de investigación que como este, intenten ilustrar de manera prolija los rasgos fundamentales de IEEE 802.22 para así poder emitir un criterio sobre la factibilidad técnica de su despliegue en la isla.

En este trabajo se analizan las principales características de la capa física y de las capacidades de CR de 802.22, además se considera el estado del arte de esta tecnología y algunas de las diversas aplicaciones que se le ha dado a nivel mundial. Producto de lo investigado en las tareas antes definidas, se realizan dos simulaciones mediante el software Radio Mobile para el análisis de la cobertura radioeléctrica de las WRANs en diferentes entornos; también se desarrolla con ayuda de la herramienta de cómputo MatLab un prototipo funcional de sensado de espectro para CR, con el cual se examina, apoyado en una plataforma de SDR (Software Defined Radio), el nivel de ocupación espectral de una banda empleada en Cuba para la transmisión televisiva.

2. EL ESTÁNDAR IEEE 802.22

A raíz de la NPRM emitida en el año 2003 por la FCC, se crea el grupo de trabajo IEEE 802.22 para definir las Wireless Regional Area Networks (WRANs) en un estándar. Así, en el mes de julio del año 2011 se publica el “IEEE Standard for Information Technology” parte 22, detallado en [4], donde se definen las WRANs, así como sus especificaciones de las capas MAC (Medium Access Control) y PHY (Physical), capacidades de CR y procedimientos a seguir para operar en las bandas de televisión. Esta norma tiene como objetivo permitir el despliegue de productos interoperables de red inalámbrica de área regional, para facilitar la competencia en el acceso de banda ancha al ofrecer alternativas de acceso a la misma y extender el despliegue de dichos sistemas en diversas zonas geográficas, al mismo tiempo que se

evitan las interferencias perjudiciales a los servicios titulares de licencias en las bandas de trabajo [4]. Se espera que las WRANs para las cuales esta norma ha sido desarrollada operen principalmente en áreas de baja densidad de población para proporcionar acceso de banda ancha a las redes de datos. Los sistemas WRAN utilizarán canales vacíos (TV White Spaces TVWS) en las bandas VHF y UHF asignadas al servicio de radiodifusión televisiva en la gama de frecuencias entre 54 MHz y 862 MHz [4]. Una aplicación típica puede ser la cobertura del área rural alrededor de un poblado, como se ilustra en la Figura 1, dentro de un radio de 10 km a 30 km de la estación base (BS) dependiendo de su PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) y la altura de la antena. La capa MAC también puede alojar terminales de usuarios (CPEs) situados hasta 100 km con una programación adecuada del tráfico y con la presencia de condiciones excepcionales de propagación de señales de RF. Con la capa PHY implementada en esta norma, los sistemas WRAN pueden cubrir hasta un radio de 30 km sin programación especial [4].

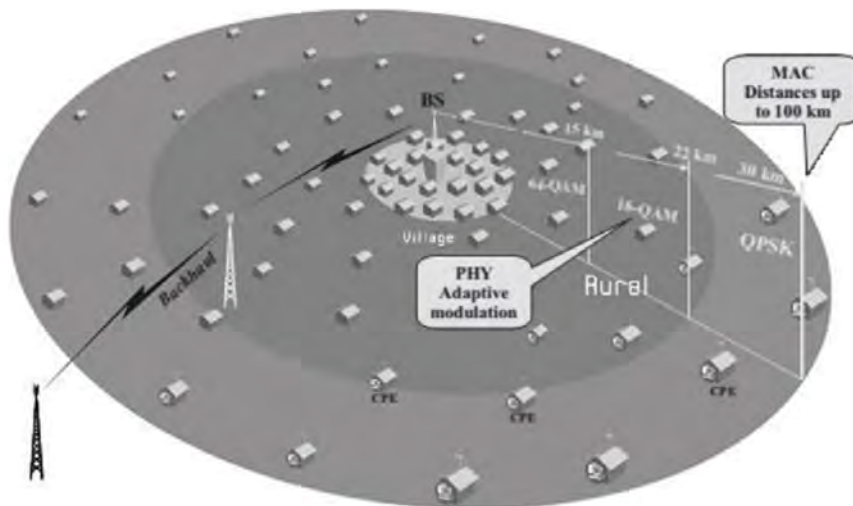


Figura 1: Ejemplo de una celda WRAN con una BS y varios CPEs.

Las WRANs están pensadas para operar bajo la tipología punto-multipunto, estando la red compuesta por celdas, donde en cada una de estas debe existir una estación base (BS) que brinda servicio a varios equipos de cliente (CPEs) fijos o móviles. Una BS que cumpla con esta norma deberá ser capaz de proporcionar servicio de Internet de alta velocidad a 512 CPEs dentro de su área de cobertura asumiendo diferentes calidades de servicio (QoS) requeridas para los diversos CPEs, cumpliendo con los requisitos regulatorios para la protección de los titulares. Este estándar incluye técnicas de CR para mitigar la interferencia a los titulares, además de la capacidad de geolocalización, provisión para acceder a una base de datos de servicios históricos y tecnología de detección de espectro para detectar la presencia de los mismos, además de otros sistemas WRAN para la coexistencia.

Resumen de las especificaciones de la capa Física (PHY)

Una de las oportunidades más atractiva que pueden ofrecer las WRANs consiste en las extensas áreas de cobertura radioeléctrica, incluso en localidades de topografía accidentada y/o en presencia de condiciones atmosféricas adversas. Esto permite, que sea ideal para brindar servicios de datos (Internet) a localidades remotas y de relieve montañoso o en situaciones de desastre climático (ej. Huracanes, etc.). Las propiedades de la capa PHY de IEEE 802.22 (Tabla 1), definidas en [4], hacen que sea posible lo antes expuesto.



Tabla 1: Especificaciones de la capa PHY para WRAN

Parámetros	Especificaciones	Observación
Rango de Frecuencia	54-862 MHz*	
Ancho de banda de canal	6, 7, o 8 MHz	En correspondencia con el dominio regulatorio
Velocidad de datos	4.54 hasta 22.69 Mbit/s	
Eficiencia del espectro	0.76 hasta 3.78 bit/(s-Hz)	
Modulación de carga	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK usado para preámbulos, pilotos y códigos CDMA.
EIRP transmitido	4W máximo para CPE. 4W máximo para dominio regulatorio en estaciones base de E.U.A	Máximo EIRP para estaciones bases puede variar en otro dominio regulatorio
Acceso Múltiple	OFDMA	
Tamaño FFT(N_{FFT})	2048	
Modos de prefijos cíclicos	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	
Duplexación	TDD	

*Rango de frecuencia asignado al Servicio de Difusión de Televisión en varias partes del mundo.

Como el sistema IEEE 802.22 WRAN opera en la banda de 54 – 862MHz, se pueden alcanzar mayores distancias de cobertura radioeléctrica en comparación con sistemas basados en otros estándares de comunicaciones inalámbricas (Wi-Fi, 3G/UMTS, etc.) que trabajan a frecuencias mayores. Esto posibilita además, que la señal sea más inmune a los efectos de clima (lluvia, etc.) que puede provocar desvanecimiento (del inglés *fading*) y otras secuelas que afectan gravemente las comunicaciones. También se pueden lograr conexiones en condiciones de NLOS (no visibilidad directa), burlando así obstáculos que normalmente lo impedirían. Esto ocurre gracias al fenómeno de difracción, el cual se manifiesta cuando la longitud de onda de la señal tiene un valor matemáticamente comparable con el de las dimensiones del obstáculo, el cual pudiera ser un edificio, montañas, etc.

Otra peculiaridad interesante es el esquema de acceso al medio que utiliza: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Este permite combatir de manera eficaz las interferencias por multitrayectos y cancelar los desvanecimientos rápidos e interferencia co-canal. También posibilita la asignación dinámica de portadoras a los usuarios de la red, garantizando una gestión de distintas QoS en función del ancho de banda asignado, siendo posible establecer una velocidad de conexión y una probabilidad de error individualmente para cada usuario. Además OFDMA ofrece una elevada eficiencia espectral y acepta la modulación adaptable (QPSK, 16QAM, 64QAM y 256QAM). Según la Tabla 1, las WRANs deben operar en canales de 6, 7 y 8 MHz, lográndose velocidades de transmisión de datos de hasta 22.69 Mbit/s para un canal de 6 MHz. Esta tasa de bits, como es descrito en [4], se obtiene empleando modulación 64-QAM y una razón de código de 5/6. En [5] el autor explica que WRAN puede mejorar su desempeño si se utiliza la concatenación de canales, dado que logra tasas de información mayores.

Capacidades de Radio Cognitiva

Las capacidades de radio cognitivas soportadas por el estándar IEEE 802.22 son necesarias para cumplir con los requisitos regulatorios para la protección de los titulares, así como para proporcionar un funcionamiento eficiente de las WRANs.

Los dispositivos IEEE 802.22 deberán emplear la capacidad de radio cognitiva, que les permitirá tomar decisiones sobre su comportamiento de operación de radio basado en información de diversas fuentes, tales como detección de espectral, geolocalización y servicio de base de datos, políticas del uso del espectro, etc. La información debe ser obtenida a través de la comunicación con el servicio de base de datos, o mediante la detección directa de los titulares en los canales que serían afectados por el



funcionamiento del dispositivo IEEE 802.22, o ambos. Esta también puede ser el resultado de reglas que rigen el dominio regulador particular en el que el dispositivo pretende operar [4]. En base a esta información recopilada, se ejecuta un procedimiento llamado “etiqueta de espectro”, mediante el cual, los canales de interés son sensados, clasificados y etiquetados continuamente de acuerdo a su estado de ocupación. De esta manera los canales ociosos, pueden ser utilizados por el sistema WRAN, y en caso de que cambiara de clasificación algún canal, el sistema es capaz de reajustarse a la nueva situación. Para determinar los niveles de utilización espectral de una banda determinada de frecuencias, y así conocer que canal puede ser empleado por el sistema WRAN, los dispositivos que operen bajo esta norma deben ejecutar en tiempo real métodos de sensado de espectro. En [4] se describen las técnicas recomendadas, dentro de las que sobresalen las de detección a ciegas (detector de energía y eigenvalue) y otras destinadas a la detección de señales específicas.

El servicio de base de datos, según [4], debe ser operado oficialmente bajo las reglas de la autoridad reguladora local que proporciona una lista de canales disponibles y posiblemente la PIRE máxima permisible en estos canales basada en consultas que contienen la geolocalización de los dispositivos WRAN. En los dominios reguladores que no obligan a dicho servicio de base de datos, el operador deberá proporcionar una base de datos de los canales disponibles. En este estándar, se asume que la BS controla todos los parámetros de RF del CPE (frecuencia, PIRE, modulación, etc.) en una relación "maestro-esclavo", de manera que la responsabilidad de proteger a los titulares de la banda de frecuencia empleada sea totalmente asumida por el operador de la WRAN. La BS será la encargada de acceder al servicio de base de datos y realizar las consultas. Los CPEs serán notificados por la BS según la información obtenida de dichas encuestas a la base de datos.

Se pueden utilizar dos modos de geolocalización con IEEE Std 802.22. La geolocalización por satélite, la cual es obligatoria, y la geolocalización basada en tierra. La tecnología de geolocalización detectará si algún dispositivo de la red se mueve a una distancia mayor a valores especificados por el sistema, en tal caso, la BS y el CPE seguirán las regulaciones locales y obtendrán la nueva lista de los canales disponibles del servicio de base de datos basado en la nueva ubicación del dispositivo.

3. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE, ESTUDIOS E IMPLEMENTACIONES DE WRAN

Diversas investigaciones enfocadas en el estándar IEEE 802.22 WRAN y sus características se han realizado en distintos países con variados índices de desarrollo de todas las regiones del mundo. Desde el análisis de disponibilidad de TVWS mediante experimentos de sensado espectral, hasta el despliegue de prototipos de hardware y pruebas de campo de los mismos, son ejemplos de los esfuerzos llevados a cabo a nivel global, con el propósito de determinar el nivel de factibilidad de esta tecnología en diversas aplicaciones.

En [6] se describe un estudio realizado en Sudáfrica. Aquí se explica que el desarrollo de la infraestructura de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicaciones) y la entrega de conectividad a Internet de banda ancha a la sociedad es un medio eficaz para reducir la brecha de desarrollo entre países y sociedades. En este trabajo se analizan los beneficios que pueden obtenerse mediante la aplicación de una red que opera en los TVWS, maniobrando de una manera cognitiva (CR). Los autores aclaran que en particular, la utilización de la banda de TV garantiza una cobertura de señal alta con el uso de potencia relativamente baja en comparación con lo que proporcionan las bandas de frecuencia más elevadas (reducción de OPEX, Operating expense). Además agregan que dada la gran cantidad de espacios en blanco en los países en desarrollo, se pueden asignar franjas de espectro más amplias para la transmisión oportunista de datos y generalmente es más fácil diseñar tales redes. Por último, las redes inalámbricas son más baratas comparándolas con las soluciones cableadas tradicionales (reducción de CAPEX, Capital expense).

En [7] se introducen algoritmos de detección de espectro para los tres estándares predominantes de televisión en China: DTMB, CMMB y PAL-D/K. Se presenta una plataforma de prototipo y su



arquitectura subyacente basada en una combinación de DSP (Digital Signal Processing) y FPGA y también se ilustra la configuración de la aplicación de radio cognitiva. El prototipo de detección de espectro presentado aquí es un módulo funcional como parte de un dispositivo de TVWS que explora la frecuencia no ocupada para un sistema de comunicación secundario. Este dispositivo puede ser integrado a una BS o a un CPE.

En [5] se discute la importancia de la banda de 700 MHz para alcanzar los objetivos de cobertura y mejorar el desarrollo rural y la economía mediante el aumento de los niveles de acceso a Internet de banda ancha en Colombia. En este artículo, el autor realiza una comparación técnica para el contexto de las condiciones geográficas extremas de ese país, de dos tecnologías: LTE como un estándar comercial posicionado, e IEEE 802.22 como una nueva e interesante propuesta. Luego de una serie de experimentos y simulaciones en los que se comparan ambos sistemas operando en similares condiciones (tomando un ancho de banda de 5 MHz para cada canal en LTE, pues se tiene en cuenta que para la banda de 700 MHz este es el valor permitido), se concluye que WRAN es un estándar más eficiente en el uso de los recursos. Este puede operar conviviendo con servicios licenciados, aplica tecnologías de punta y fue específicamente concebido para escenarios rurales, donde logra un mejor desempeño que LTE. Sin embargo, explica el autor, este es un estándar nuevo aun en revisión por parte de la industria y con reducido apoyo. LTE por su parte maneja economías de gran escala, tiene un fuerte apoyo de la industria y su despliegue ya ha iniciado; no obstante, es un estándar que no ha sido pensado para operar en ambientes rurales.

En [8] se expone que cuando ocurre un desastre natural, es muy importante que las víctimas reciban y transmitan la información apropiada para poder evacuar de inmediato y solicitar ayuda y rescate. Para esto, son de mucha importancia las tecnologías de comunicación inalámbrica, por ejemplo, la televisión (TV), la radio, el sistema inalámbrico comunitario para desastres y el teléfono móvil. Sin embargo, después de la ocurrencia de una catástrofe, en particular, la telefonía móvil queda inutilizable durante mucho tiempo debido a congestiones de la red por los daños físicos sufridos por estaciones base y las fallas en los sistemas de energía. Para combatir estos problemas, los servicios de TICs requieren más robustez, disponibilidad, flexibilidad y redundancia. Aquí, los autores discuten la competencia de la red inalámbrica de área regional (WRAN) basada en el estándar IEEE 802.22.

En Japón, un país con un alto desarrollo tecnológico, también se han dado importantes pasos con el fin de aprovechar las oportunidades que proponen las WRANs. En [9] se analizan los resultados de un experimento de campo llevado a cabo en la prefectura de Iwate a finales del año 2013. En el mismo se establecen conexiones vía inalámbricas usando IEEE 802.22 a distancias de alrededor de 10 km entre tres localidades remotas y de difícil acceso (Takashimizu, Tono y Sadato). Es interesante destacar que el escenario escogido para estas pruebas es una zona propensa a los efectos de los terremotos y tsunamis, quedando inhabilitados los servicios de telecomunicaciones bajo estas condiciones, siendo factible implementar un sistema de banda ancha económico y fácil de desplegar para estas situaciones. El enfoque que se le da a la aplicación de esta tecnología en el territorio nipón, puede ser extrapolado a Cuba, donde azotan fuertemente los ciclones tropicales, causando cuantiosos daños materiales, particularmente en la infraestructura de las telecomunicaciones. De forma similar a los ejemplos anteriormente citados, vale la pena señalar que han sido desarrollados estudios similares sobre el asunto de IEEE 802.22 y los TVWS en Bangladesh [10], Ecuador [11], Europa [12], Malasia [13], entre otros.

4. SIMULACIÓN Y CÁLCULOS DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA PARA WRANs

Con el fin de evaluar el alcance y la calidad de la cobertura radioeléctrica (CoR de ahora en adelante) que pueden brindar las WRANs, y en base a la información obtenida de la bibliografía sobre el tema, se propuso realizar dos simulaciones con ayuda del software Radio Mobile. Este programa de simulación de radioenlaces permite analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz. Con esta aplicación podemos realizar los cálculos y obtener todos los datos necesarios para realizar radioenlaces funcionales y abandonar la tediosa tarea de hacerlo manualmente. Los cálculos de los radioenlaces se plasman en un mapa de cobertura para cuya generación



se utilizan tres elementos básicos: un mapa de trabajo, elaborado a partir de un modelo digital del terreno (SRTM); un mapa topográfico, elaborado a partir de una cartografía específica y por último un mapa de cobertura, elaborado con el algoritmo de cálculo de propagación Longley – Rice. La zona escogida para estas simulaciones fue la provincia de La Habana, donde fue configurada una WRAN con tipología punto – multipunto, básicamente compuesta por una estación base y varios CPEs ubicados en diferentes sitios del territorio. La BS se ubicó (arbitrariamente, con el objetivo de ilustrar un punto de significativa altitud, 138.4 msnm) en la torre del monumento a José Martí, en la Plaza de la Revolución, ubicada en el municipio del mismo nombre. Los CPEs fueron ubicados en los siguientes puntos:

- Reparto Guanabo, municipio Habana del Este. Antena ubicada en las coordenadas 23,16402: N, -82,14258: W, a 37,1 msnm.
- Poblado de Tapaste, provincia Mayabeque. Antena ubicada en las coordenadas 23,03861: N, -82,15862: W, a 258,2 msnm.
- Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría” CUJAE, municipio Marianao. Antena ubicada en las coordenadas 23,05385: N, -82,4194: W, a 74,5msnm.
- Aeropuerto Internacional “José Martí”, municipio Boyeros. Antena ubicada en las coordenadas 23,05385: N, -82,4194: W, a 74,5 msnm.
- Pueblo de Baracoa, provincia de Artemisa. Antena ubicada en las coordenadas 23,04889: N, -82,55889: W, 8 msnm.

La configuración de la red se llevó a cabo siguiendo las especificaciones del estándar y asumiendo condiciones climatológicas normales, bajo una topología maestro/esclavo en donde los CPEs se subordinan a la BS. Es importante señalar que las frecuencias de operación de cada enlace, fueron seleccionadas de manera arbitraria (asumiendo que son TVWS), teniendo en cuenta que estos valores se encuentran en las bandas de VHF/UHF, donde los nodos operarían empleando técnicas de CR para así acceder dinámicamente al espectro con el compromiso de no perjudicar a los servicios primarios.

Resultados de la simulación

Como resultado de la simulación, se obtuvo el mapa expuesto en la Figura 2. Este muestra los niveles de potencia (en dBm) de la señal transmitida por la BS en una escala cromática. Para un análisis más profundo de los parámetros que intervienen en la CoR, la Figura 3 (a y b) ilustra en detalles el caso del radioenlace entre la BS y el CPE ubicado en Guanabo. En esta imagen se confirma el hecho de que la CoR en esta localidad es buena, con un valor de potencia de señal recibida de -67,9 dBm, aun cuando no existe visibilidad directa entre los nodos del enlace, ocurriendo el modo de propagación por difracción con obstrucción simple a 23.9 km de distancia de la BS. Este es un buen resultado, teniendo en cuenta que el umbral de recepción definido por IEEE 802.22 es de -96 dBm.

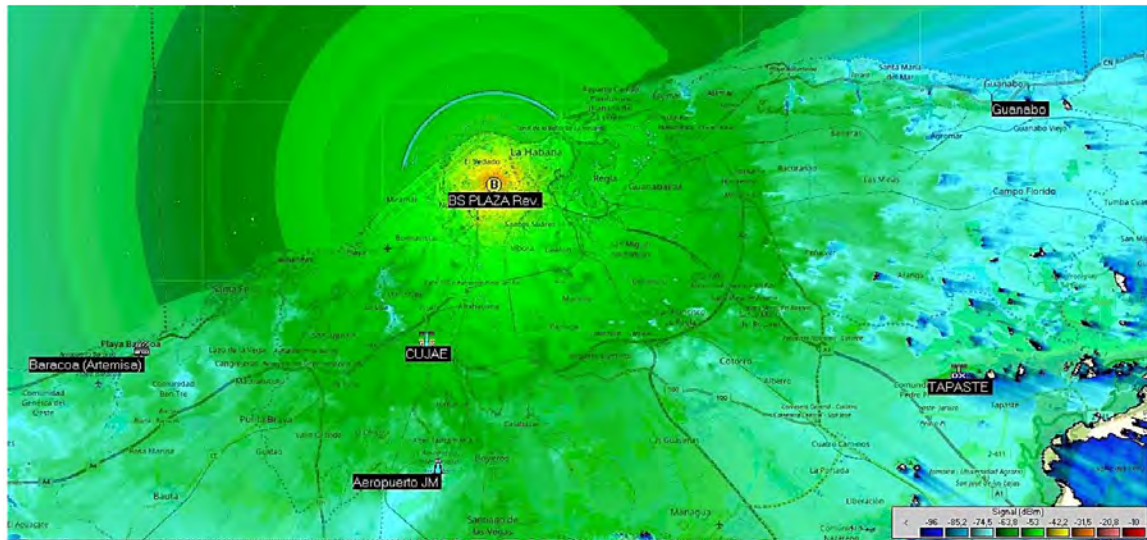


Figura 2: Mapa de cobertura radioeléctrica de una WRAN operando en La Habana

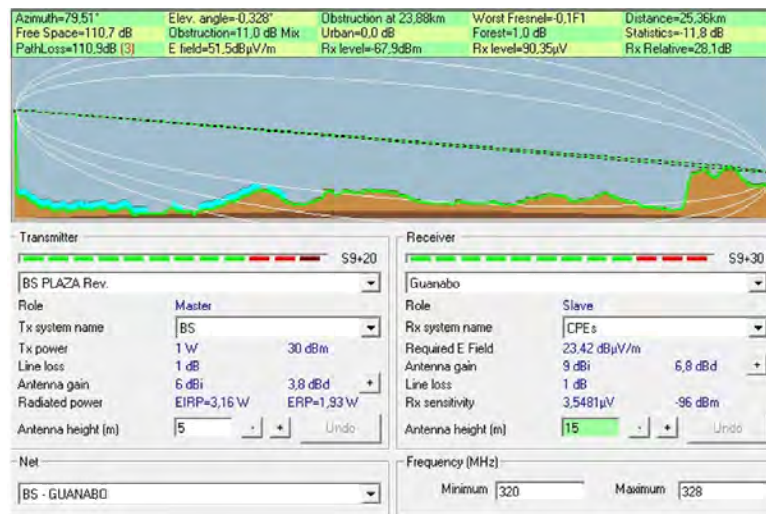


Figura 3a: Detalles del radioenlace entre la BS y el CPE/Guanabo

Distance between BS PLAZA Rev. and Guanabo is 25,4 km (15,8 miles)
 True North Azimuth = 79,51°, Magnetic North Azimuth = 84,15°, Elevation angle = -0,3276°
 Terrain elevation variation is 69,0 m
 Propagation mode is diffraction, single obstruction, 0,1F1 at 23,9km
 Average frequency is 324,000 MHz
 Free Space = 110,7 dB, Obstruction = 11,0 dB Mix, Urban = 0,0 dB, Forest = 1,0 dB, Statistics = -11,8 dB
 Total propagation loss is 110,9 dB
 System gain from BS PLAZA Rev. to Guanabo is 139,0 dB
 System gain from Guanabo to BS PLAZA Rev. is 134,0 dB (yagi.ant at 259,6 °0,10° gain = 9,0 dBi)
 Worst reception is 23,1 dB over the required signal to meet
 50,000% of time, 10,000% of locations, 50,000% of situations

Figura 3b: Detalles del radioenlace entre la BS y el CPE/Guanabo



5. PROTOTIPO FUNCIONAL DE SENSADO DE ESPECTRO PARA IEEE 802.22

Como ha sido discutido en secciones anteriores en este trabajo, las funcionalidades de CR son imprescindibles para el correcto funcionamiento de las WRANs. En esta sección se diseña un prototipo funcional de sensado espectral para aplicaciones de este tipo y es implementado con ayuda de la herramienta de software MatLab/Simulink. Este ejemplar fue diseñado para emplear método de sensado de espectro mediante detección de energía. Esta técnica es una de las más conocidas y utilizadas con estos fines debido a su poca complejidad, además es propuesta en [4] como una de las alternativas para la detección de espectro en IEEE 802.22. Otra de sus bondades es que no se necesita conocimiento previo de la señal a detectar, motivo por el que se clasifica como un método de detección a ciegas. Cuando lo que se necesita saber es si están ocupados uno o varios canales, sin importar el tipo de señal, este algoritmo resulta de gran utilidad. La decisión de si se encuentra en uso o no un canal, depende de la comparación de los niveles de energía promedio (T) detectados con un umbral (γ) previamente seleccionado, siendo necesario recurrir a una prueba de hipótesis binaria como la descrita en (1a) y (1b).

$$H_0: y(n) = w(n) \quad (1a)$$

$$H_1: y(n) = x(n) + w(n) \quad (1b)$$

Donde $y(n)$ es la señal recibida, $x(n)$ es la señal del usuario primario que se ha de detectar y $w(n)$ es el ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN). Aquí H_0 es la hipótesis nula, lo que significa que no hay ningún usuario primario presente en la banda, mientras que H_1 (hipótesis alternativa) significa la presencia del usuario primario.

Para desarrollar el detector de energía se creó en Simulink un diagrama de bloques de procesamiento de señal siguiendo el esquema que muestra la Figura 4. La señal proporcionada por un receptor RTL-SDR 2832u sintonizado en la banda de frecuencias de interés, es posteriormente filtrada y luego se le halla su energía promedio, arrojando así el parámetro estadístico T , el cual pasa a ser comparado con el umbral de decisión (γ), y según este resultado es escogida una de las dos hipótesis antes explicadas.



Figura 4: Esquema de procesamiento empleado en Simulink

Puesta en práctica del prototipo de sensado de espectro

Basado en las experiencias de los estudios acerca de TVWS e IEEE 802.22 realizados en [11–14] y otros, el prototipo de detección diseñado, fue empleado en un experimento de campo para comprobar su funcionalidad y medir la utilización del espectro en una banda seleccionada. Para ello se empleó un receptor RTL – SDR 2832u, una antena logarítmica periódica con ganancia de 7dBi en la banda de 300 - 1000 MHz y una laptop con un procesador Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz y 6GB de memoria RAM DDR4 @1600. Esta prueba fue desarrollada en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE, en el municipio de Marianao, provincia La Habana.

El sensado espectral fue realizado entre las 14:20 y las 16:27 horas del día 24 de mayo del 2017, en la banda de 596 – 710 MHz, empleada por los usuarios titulares en este territorio para la transmisión de televisión. Los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 5, donde es posible identificar claramente la presencia de señales primarias. Además en la imagen son señaladas las tres zonas de TVWS detectadas, con anchos de banda de 25 MHz, 11 MHz y 17 MHz respectivamente. Es interesante destacar



lo que sucede la banda de 623 – 648 MHz, pues inicialmente aparece desocupada, y luego, al cabo 5725 segundos (95 minutos) de comenzada la prueba aparece una señal primaria ubicada aproximadamente entre los 625 MHz y los 633 MHz. La Figura 6 detalla mejor lo antes explicado.

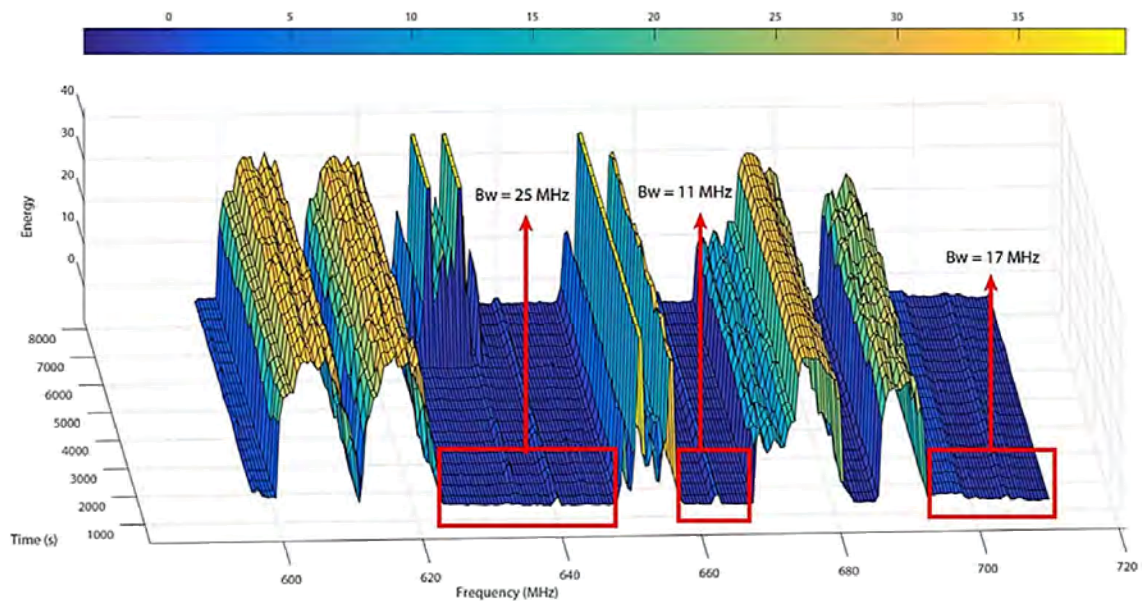


Figura 5: Ocupación del espectro radioeléctrico en la banda de 596 – 710 MHz

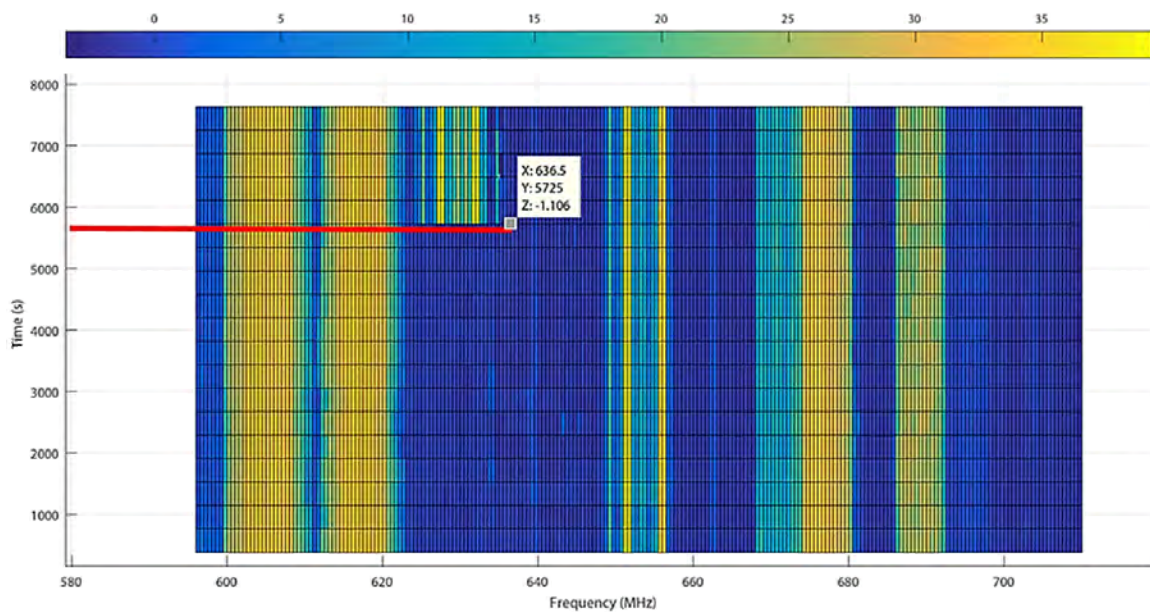


Figura 6: Presencia de usuario primario en la banda de banda de 625 – 633 MHz limitando los TVWS



La Figura 7 demuestra que los porcentajes de ocupación de esta fracción de la banda de TVWS ubicada en los 623 – 648 MHz no superan el 30 %.

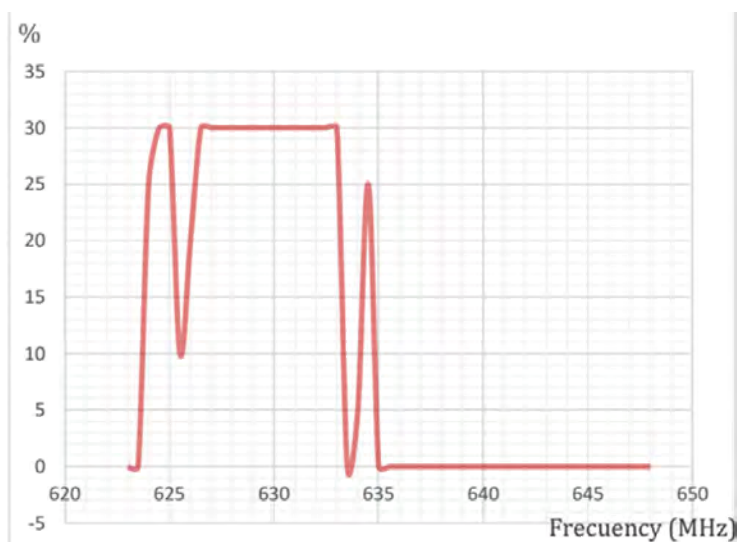


Figura 7: % de ocupación de la banda de 623 – 648 MHz

Con esta prueba se analizó un segmento de frecuencias de 114 MHz (710 MHz – 596 MHz) de ancho, ubicado en la banda de UHF y dedicado a la transmisión de televisión, detectándose que existen 53 MHz desocupados la mayor parte del tiempo de duración del experimento, lo que representa alrededor del 46.5% de la banda. Este valor puede ser mayor cuando cesen las transmisiones de televisión analógica y queden esas frecuencias libres. Los TVWS aquí detectados, asumiendo que mantienen constante su comportamiento durante el día, pudieran ser utilizados por un sistema WRAN que opere en esta banda de frecuencias. Con las especificaciones de CR definidas en IEEE 802.22 es posible detectar la presencia de usuarios primarios y así evitar perjudicarlos.

6. CONCLUSIONES

A partir del análisis de las características y especificaciones técnicas del estándar IEEE 802.22 y de las bibliografías relacionadas con este, se puede inferir que las WRANs representan una económica, fiable y funcional alternativa para brindar servicios de banda ancha a regiones extensas donde existe poco desarrollo de las TICs o en donde las condiciones topográficas no permiten el empleo de otras soluciones. Cualidades como una alta eficiencia espectral, extensas áreas de cobertura, el empleo de capacidades de CR que permiten garantizar un acceso dinámico al espectro, haciendo un uso eficiente del mismo, son muestra de las bondades que ofrece este modelo de comunicaciones. De manera general, es posible concluir que el estándar IEEE 802.22 puede ser empleado en Cuba para colaborar con el proceso de informatización (acceso a internet, etc.) y expansión de los servicios de telecomunicaciones, en aras de promover el desarrollo tecnológico del país.

REFERENCIAS

1. LÓPEZ, Raikel Bordón and MONTEJO SÁNCHEZ, Samuel. La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*. 2015. Vol. 36, no. 1, p. 42–55.



2. RENTERÍA, Julio Hector Aguilar and CADAVID, Andrés Navarro. Cognitive radio–State of the Art. *Sistemas & Telemática*. 2011. Vol. 9, no. 16, p. 31–53.
3. MITOLA, J. and MAGUIRE, G.Q. Cognitive radio: making software radios more personal. *IEEE Personal Communications*. August 1999. Vol. 6, no. 4, p. 13–18. DOI 10.1109/98.788210.
4. IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands. *IEEE Std 802.22-2011*. July 2011. P. 1–680. DOI 10.1109/IEEESTD.2011.5951707.
5. HERRERA, Oscar E., GUTIÉRREZ, Alejandro, OSPINA, Ana M. and GALVIS, Alexander. WRAN and LTE comparison in rural environments. In : *Communications Conference (COLCOM), 2012 IEEE Colombian*. IEEE, 2012. p. 1–7. ISBN 1-4673-1269-X.
6. RAMOROKA, Tlou M., MASONTA, Moshe T. and KLIKS, Adrian. Modernizing African Townships using TV White Space Networks: A Case study of Mankweng Township in South Africa. *ICST Transactions on Ubiquitous Environments*. 18 May 2016. Vol. 3, no. 8, p. 151252. DOI 10.4108/eai.18-5-2016.151252.
7. KOCKS, Christian, VIESSMANN, Alexander, JUNG, Peter, CHEN, Lei, JING, Qiu and HU, Rose Qingyang. On Spectrum Sensing for TV White Space in China. *Journal of Computer Networks and Communications*. 2012. Vol. 2012, p. 1–8. DOI 10.1155/2012/837495.
8. HASEGAWA, K., TAKEKAWA, M., TOH, K. B., YANAGISAWA, K., SASAKI, S. and ASANO, M. IEEE 802.22-based WRAN system for disaster-resistant network systems. In : *2013 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*. Agosto 2013. p. 264–269.
9. ISHIZU, K., HASEGAWA, K., MIZUTANI, K., SAWADA, H., YANAGISAWA, K., KEAT-BENG, T., MATSUMURA, T., SASAKI, S., ASANO, M., MURAKAMI, H. and HARADA, H. Field experiment of long-distance broadband communications in TV white space using IEEE 802.22 and IEEE 802.11af. In : *2014 International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. September 2014. p. 468–473.
10. RAHMAN, Rafi and AYON, Farhat Nizam. *On the feasibility of IEEE 802.22 WRAN based broad band for rural Bangladesh: network and coverage planning*. BRAC University, 2016.
11. CORONEL, María. Análisis de implementación en Ecuador de sistemas basados en el estándar IEEE 802.22. In : . 2015.
12. BEEK, J. van de, RIIHIJARVI, J., ACHTZEHN, A. and MAHONEN, P. UHF white space in Europe #x2014; A quantitative study into the potential of the 470 #x2013;790 MHz band. In : *2011 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*. May 2011. p. 1–9.
13. OMAR, Mohd. Hasbullah, HASSAN, Suhaidi and SHABLI, Ahmad Hanis Mohd. Feasibility Study of Using IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN) in Malaysia. In : [online]. IEEE, September 2010. p. 198–202. [Accessed 13 February 2017]. ISBN 978-1-4244-8048-7. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5635805/>
14. MASONTA, M. T., MAKGOTLHO, R. and MEKURIA, F. Setting scene for TV white spaces and dynamic spectrum access in South Africa. [online]. May 2012. [Accessed 13 February 2017]. Available from: <http://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/5912>