

# Disponibilidad Espacial del Espectro Dentro De Zonas Urbanas Densas

Luis Mendoza., Vanessa Sarmiento, Francisco Novillo  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
{lomendoz, vsarmien, fnovillo}@espol.edu.ec

## Resumen

*Con la creciente demanda de servicios con acceso inalámbrico de corto alcance que operan en bandas de uso compartido (e.g. ISM), sobretudo en zonas urbanas densas, existe preocupación de futuros colapsos en ese segmento de espectro radioeléctrico, debido al incremento de los niveles de interferencia. En ese contexto, las tecnologías con capacidades de acceso oportunista del espectro (OSA) podrían brindar una buena alternativa para descongestionar las bandas ISM. En particular permitiendo a los dispositivos que laboran en bandas ISM acceder de manera oportunista a otras bandas licenciadas a otros sistemas (e.g. TV) sin causar interferencia a sus usuarios legítimos. Por lo antes expuesto, en este artículo se propone cuantificar la disponibilidad espacial del espectro licenciado en zonas al interior de edificios, de manera que sistemas de corto alcance puedan funcionar como usuarios secundarios en bandas licenciadas. Para este estudio se utilizaron varios modelos de propagación semi-empíricos que permiten hacer un análisis exhaustivo de aproximación.*

**Palabras Claves:** Radio Cognitiva; OSA; Reúso del Canal; Modelos de Propagación; Disponibilidad Espacial.

## Abstract

*The growing demand for services with short-range wireless operating in sharing bands (e.g. ISM), especially in dense urban areas, there is concern of future collapses in that segment of the radio spectrum due to increased interference levels. In this context, technologies with opportunistic spectrum access (OSA) capabilities could provide a good alternative to decongest the ISM bands. In particular allowing devices working in ISM bands opportunistically access to other bands so licensed to other systems (e.g. TV) without causing interference to legitimate users. For the above, this article proposes to quantify the spatial availability of licensed spectrum in areas inside buildings, so that short-range systems can function as secondary users in licensed bands. For this study various semi-empirical propagation models that allow do a thorough analysis approach have been used.*

**Keywords:** Cognitive Radio; OSA; Reuse of Canal; Propagation models; Space availability.

## 1. Introducción

En la actualidad la demanda de servicios con acceso inalámbrico de corto alcance (e.g. Wireless Local Area Network, WLAN), en particular los sistemas basados en el estándar IEEE 802.11, han aumentado de manera significativa sobre todo en zonas urbanas densas [1]. Esto a futuro podría provocar que las bandas en las que opera (i.e. ISM) se congestionen [2], debido al limitado número de canales que disponen y la alta cantidad de usuarios. Por esta razón, futuros problemas se pueden acarrear en esas bandas, entre los cuales, se tiene el incremento de los niveles de interferencia que pueden provocar bajos rendimientos de las redes [3].

Para dar algún tipo de solución a los problemas antes mencionados se han realizado estudios como los

planteados en [4] donde se presenta un análisis de los efectos que provocan las interferencias en ISM por lo que proponen técnicas de transmisión tales como espectro ensanchado por secuencia directa (DS-SS) que utiliza un modular digitalmente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral. La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radio receptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal. Otros estudios como los presentados en [5] plantean técnicas adicionales que minimizan los efectos causados por las interferencias ISM como espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS), salto de frecuencia adaptativo (AFH) todos estos basados en el mismo esquema de transmisión de señal. Sin embargo, una solución que en los últimos años ha surgido y que podría ayudar a descongestionar las

bandas ISM de manera más eficiente es el uso de tecnologías basadas en técnicas de acceso oportunista al espectro (OSA) [6] de manera que ciertos sistemas que operan en bandas compartidas no licenciadas puedan funcionar como usuarios secundarios (SU) en aquellos canales que no están siendo usados (i.e. White Spaces) [7] en bandas licenciadas, de manera oportunista.

En este contexto el estudio de la disponibilidad de canales en las diferentes bandas del espectro radioeléctrico se convierte en un motivo de estudio de gran importancia. Así en [8] se propone un estudio de identificación temporal de White Spaces (WS) en toda la banda del espectro radioeléctrico, donde se realizaron mediciones durante una semana para luego calcular el ciclo de trabajo promedio, para posteriormente obtener un porcentaje de disponibilidad temporal de la banda en estudio, confirmando que dicha disponibilidad depende del tiempo, frecuencia y la ubicación de la medición. Otro caso de estudio temporal se presenta en [9] donde se determinó que dentro de la banda comprendida desde 20 hasta 3000 MHz, el porcentaje de utilización temporal de espectro es del 13.7%. Dichos resultados mostraron una alta disponibilidad espectral y la manera cómo estas varían de acuerdo al horario en que las mediciones fueron realizadas. Por otro lado, un análisis espacial del espectro para aplicaciones OSA es realizado en [10], en donde la disponibilidad espacial de WS en una zona urbana densa es determinada. En este tipo de escenarios, dadas las complejas condiciones de las construcciones, las señales transmitidas toman diferentes tipos de caminos y en algunos casos resulta casi imposible que accedan a ciertos lugares, dando la posibilidad que puedan existir espacios en blanco en esos lugares inaccesibles lo cual existe la posibilidad de que un sistema de corto alcance pueda hacer uso de la banda de un sistema licenciado.

Por lo tanto, en este paper se pretende hacer un análisis espacial de la disponibilidad de espectro radioeléctrico de cierto sistema licenciado para un potencial uso por sistemas con capacidades OSA en zonas urbanas densas. Para esto se propone una extensión del trabajo realizado en [10] considerando nuevos parámetros que permitan hacer un escenario más realista y extremo a la vez. Así por ejemplo, se cuenta con edificios de múltiples niveles en donde el análisis de interferencia se torne más complejo en un entorno urbano, adicionalmente se consideran diferentes características de transmisión del sistema licenciado. En particular, se propone cuantificar el área en que cierto canal de la banda de televisión digital terrestre (i.e. Banda UHF) pueda ser utilizado de manera oportunista por un sistema de radio comunicación de corto alcance como por ejemplo las redes inalámbricas de área local (WLAN) basadas en el estándar 802.11.

Este paper está organizado de la siguiente manera: En la sección II, muestra el modelado del escenario. Sección III el cálculo del área reusable y los modelos de propagación son descritos. La comparación de los resultados son analizados en la sección IV y finalmente en la sección VI se presentan las conclusiones y recomendaciones.

### 3. Modelado del Escenario

En esta sección, se describe el escenario de estudio donde se analiza la posibilidad de aprovechar el espectro de manera oportunista para sistemas de comunicación de corto alcance, de manera que estos sistemas puedan hacer reuso de espectro asignado a un sistema licenciado (e.g. Estación de TV), definiendo a los sistemas de corto alcance como usuarios secundarios (SU) y a los usuarios licenciados como usuarios primarios de su espectro asignado. Además, se analizarán dos casos de estudio que permitirán identificar la disponibilidad espacial dentro del escenario descrito mediante condiciones que permiten determinar si el espectro puede ser reusado en una determinada zona dentro del área de cobertura.

#### A. Descripción del Escenario.

La Fig.1 muestra el escenario de estudio el cual corresponde a una zona urbana con una alta densidad de edificios, como lo es un escenario tipo Manhattan, donde se despliegan varios dispositivos inalámbricos, los mismos que debido a la cantidad y la alta utilización de los mismos han logrado saturar el segmento de espectro asignado al uso compartido. En este escenario se ha considerado la co-existencia de dos sistemas de comunicación inalámbrica: sistema primario y sistema secundario los mismos que se describen a continuación.

**Sistema Primario:** Se define a sistema primario a aquel que posee una licencia para operar dentro de una determinada banda del espectro (e.g Celular, TV, FM). El mismo que corresponde a una Estación Base (BS) de TV con cobertura sectorial que provee señales punto-multipunto hacia varios equipos receptores ( $RX_{TV}$ ) de dicha señal también con cobertura sectorial y con orientación hacia la BS, para este estudio se asume que la señal transmitida es de Televisión Digital Terrestre (TDT). Tanto la BS como los  $RX_{TV}$  se encuentran ubicados en las azoteas de los edificios, tal como se muestra en la Figura 1. La potencia de transmisión de la BS se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$P_{BS} = S_{RX} + L_p + G_{BS} + F_{BS}(\theta) - G_{RX} - F_{RX}(\theta) + M_{SH} \quad (1)$$

Donde  $S_{RX}$  es la sensibilidad del receptor,  $L_p$  es la pérdida de propagación de la BS al RX más

lejano,  $G_{BS}$  y  $G_{RX}$  son las ganancias de antena de la BS y del RX respectivamente.  $F_{BS}$  y  $F_{RX}$  son la respuesta con respecto al angulo de azimuth de la BS y receptor respectivamente. Finalmente  $M_{SH}$  es el margen de sombra.

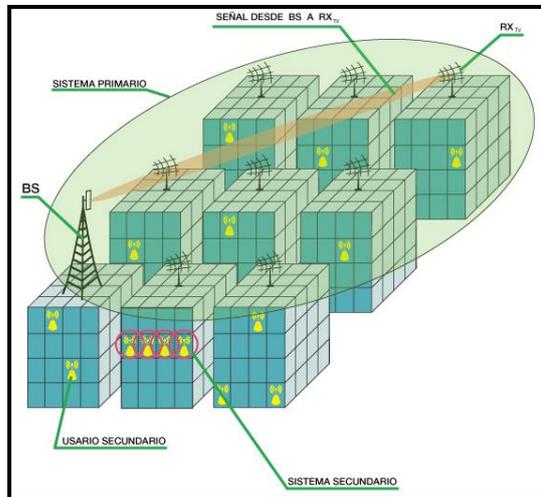


Figura 1. Escenario en estudio.

Sistema Secundario: Como sistema secundario se define a aquel sistema que no necesita una licencia para operar (e.g. WLAN). El cual corresponde a dispositivos de transmisión de corto alcance como lo son puntos de acceso inalámbrico (AP), ubicados en el interior de cada edificio, los mismos que utilizan una antena omnidireccional para la transmisión de datos, además se asume que estos dispositivos transmiten en su máximo nivel de potencia. Cabe destacar que no es necesario el dimensionamiento de los parámetros de transmisión (e.g potencia de transmisión, sensibilidad, etc.), para sistemas que trabajan bajo el estándar IEEE 802.11.

### B. Casos de Estudio

Para analizar la disponibilidad del espectro radioeléctrico dentro de escenarios urbanos densos, se han propuesto los siguientes casos de estudio:

- **CASO A:** Se propone identificar la disponibilidad espacial de cierto canal de TDT en un entorno urbano, para ello se considera que la señal de TDT es transmitida por medio de una BS proporcionando cobertura en todo el aexterior.
- **CASO B:** Basado en la disponibilidad espacial del caso A, en este caso se realiza una combinación de esos resultados con la disponibilidad temporal de ese canal medido en

acierta localidad. De manera que se realiza un análisis espacial y temporal de disponibilidad de un canal de TDT en un entorno urbano.

### C. Condiciones para el Reúso del Espectro

Como se describió en la sección I, los sistemas con capacidades OSA pueden funcionar como usuarios secundarios dentro de una banda licenciada (e.g Banda de TV) siempre y cuando estos no interfieran en la comunicación del sistema primario. Cuando un sistema primario y un sistema secundario coexisten, varios tipos de interferencias pueden surgir, así en la Figura 2., se muestra la caracterización de interferencia considerada para el reúso del espectro.

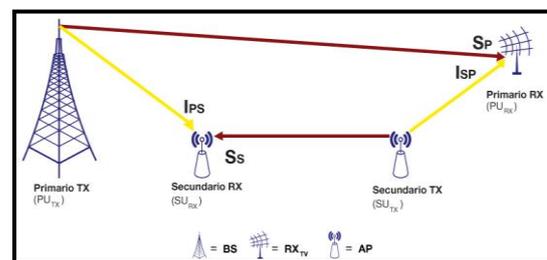


Figura 2. Caracterización de interferencias para reúso del espectro.

En donde  $I_{PS}$  es la interferencia que causa el sistema primario al sistema secundario e  $I_{SP}$  la interferencia que causa el sistema secundario al primario, por lo tanto para hacer reúso del espectro estas interferencias no deben sobrepasar los niveles de sensibilidad de los dispositivos teniendo la siguiente formula:  $I_{SP} \leq S_p - M_p$  en donde  $S_p$  es la sensibilidad del receptor primario y  $M_p$  el margen de protección. De manera análoga la condición que asegura que un receptor secundario no es interferido es:  $I_{PS} \leq S_s - M_s$  donde  $S_s$  es la sensibilidad del receptor secundario y  $M_s$  el respectivo margen de protección del receptor secundario.

## 4. Cálculo del Área Reusable

En esta sección se formulan las condiciones de reúso de canal licenciado por los usuarios secundarios en el escenario antes propuesto; para ello, varios modelos de propagación son usados para determinar el nivel de interferencia o potencia recibida entre los sistemas desplegados en el escenario.

### A. Cálculo del Área Reusable.

El cálculo del área reusable se realizó mediante el desarrollo de las condiciones descritas en la sección II. Por lo tanto, un habitáculo de un edificio es considerando como área reusable si dentro del mismo los niveles de interferencia tanto para el sistema primario como para el secundario están por debajo de la sensibilidad de los equipos.

Por lo tanto considerando la condición (C1) que asegura que el sistema primario no está interfiriendo al secundario tenemos la siguiente expresión:

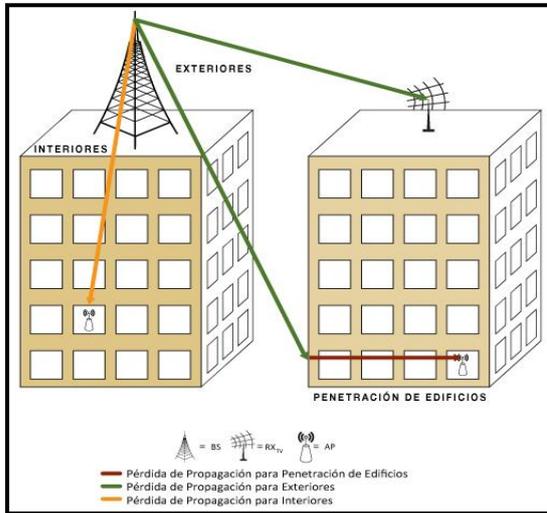
$$I_{BS \rightarrow SU} \leq P_{BS} + F_{BS}(\theta) - L_p + G_{SU} + F_{SU}(\theta) \leq S_{SU} - M_{SU} \quad (2)$$

Por otro lado la condición (C2) que asegura que el sistema secundario no está interfiriendo al primario tomando en cuenta los niveles de interferencia en cada uno de los receptores teniendo la siguiente ecuación:

$$I_{SU \rightarrow RXv} \leq P_{SU} + G_{SU} - F_{SU}(\theta) - L_p + G_{RX} + F_{RX}(\theta) \leq S_{RX} - M_{RX} \quad (3)$$

### B. Modelos de Propagación.

En la Figura 3, se muestran los diferentes medios por los cuales la señal se va a propagar dentro del escenario de estudio, para lo que necesitaremos modelos de propagación para exteriores, interiores y penetración de edificios.



**Figura 3.** Medios que producen pérdidas de propagación.

#### - Pérdida de Propagación para Exteriores.

Para calcular la pérdida de propagación en exteriores desde la BS a cada  $RX_{TV}$  se utilizó el modelo descrito en [11], el cual propone la siguiente expresión:

$$L_{edif} = [51 - 8 \log(H_{TX} H_{RX})] \log(d) + 8.4 \log(H_{TX} H_{RX}) + 20 \log(f_c / 2.2) + 14 \quad (4)$$

Donde  $H_{TX}$  y  $H_{RX}$  son la altura del transmisor y la altura del receptor respectivamente, y  $d$  la distancia entre el transmisor y el receptor

#### - Pérdida de Propagación para Interiores.

Para poder medir la pérdida de propagación que se produce cuando el transmisor se encuentra en el mismo edificio que el receptor se usó el modelo de propagación propuesto en [12] descrito por la siguiente expresión:

$$L = L_0 + L_c + \sum_{i=1}^f K_{wi} L_{wi} + k_f \left[ \frac{K_f + 2}{K_f + 1} - b \right] L_f \quad (5)$$

Donde  $L_0$  es la pérdida del espacio libre, es la constante fija de pérdida 0dB,  $L_{wi}$  es la pérdida dependiendo del material de la pared de tipo (6.9dB),  $L_f$  es la pérdida entre pisos adyacentes (18.3dB),  $K_{wi}$  es el número de paredes penetradas de tipo,  $K_f$  es el número de pisos penetrados,  $b$  es el parámetro empírico de 0.46.

#### - Pérdida de Propagación para Penetración de Edificios

Para calcular la pérdida de propagación entre un transmisor situado en el exterior de un edificio y un receptor en el interior de un edificio o viceversa usamos el modelo de propagación propuesto en [12] que presenta la siguiente expresión:

$$L = L_{edif} + W_e + W_{ge} + \max(W_i p, \alpha d_w) - h G_h \quad (6)$$

En donde,  $W_e$  es la pérdida en la pared externa iluminada (7dB, considerando una penetración con ángulo  $\theta = 90^\circ$ ), así mismo  $\theta = 0^\circ$  es la pérdida adicional en la pared externa para  $W_{ge}$  con un valor de 4dB.  $W_i$  es la pérdida en paredes internas (6.9 dB) y  $p$  el número de paredes ( $p = 0, 1, 2, \dots$ ).  $\alpha$  es el factor de pérdida por pérdidas adyacentes (0.6 dB/m) y  $d_w$  es la distancia entre paredes,  $h$  es la altura y  $G_h$  es la ganancia de altura (1.6 dB/m).

Y finalmente  $L_{edif}$  es la pérdida desde la BS hacia la parte externa de la pared de cualquier edificio, la misma que es medida por el modelo de propagación para exteriores descrito anteriormente.

## 5. Análisis de Resultados

En ésta sección se analizan los resultados obtenidos para los casos A y B enunciados en la sección II. Para lo cual se ha considerado un escenario urbano tipo Manhattan de  $500 \text{ m}^2$  con 25 edificios distribuidos uniformemente y anchura vial de 20m. Cada edificio contiene pisos de  $100 \text{ m}^2$  y dentro de cada piso habitáculos de  $5 \times 5 \text{ m}$  con una altura 2.5m, Para el análisis del caso A se ha considerado escenarios con diferente número de pisos (i.e. 4 8 12 y 16 pisos). En la Tabla I, se muestra la configuración para cada uno de escenarios, así mismo la Tabla II muestra la configuración de los parámetros de los sistemas. Se establece un margen de sombra referencial para todo el escenario de 16.4dB lo cual permite fijar un margen de protección de 30 dBm.

**Tabla I.** Configuración de escenario

Configuración de Escenarios				
PARAMETRO	4 PISOS	8 PISOS	12 PISOS	16 PISOS
H BS	12m	22m	32m	42m
H RX	12m	22m	32m	42m
H / piso	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
H SU /piso	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
H edificio	9m	19m	29m	39m
edificios	25	25	25	25
Anchura vial	20	20	20	20

**Tabla II.** Configuración de parámetros

Configuración de Parámetros			
	RX <sub>TV</sub>	SU	BS
Potencia de transmisión, P	Solo recepción	15dBm	Se obtiene por (1)
Sensibilidad, S	-80dBm	-65dBm	-80dBm
Margen de Protección, M	30dB	30dB	30dB
Antena	Direccional	Omnidireccional	Direccional
G	14dBi	2dBi	4dBi
Azimuth	60°	360°	120°
Elevación	10°	360°	20°

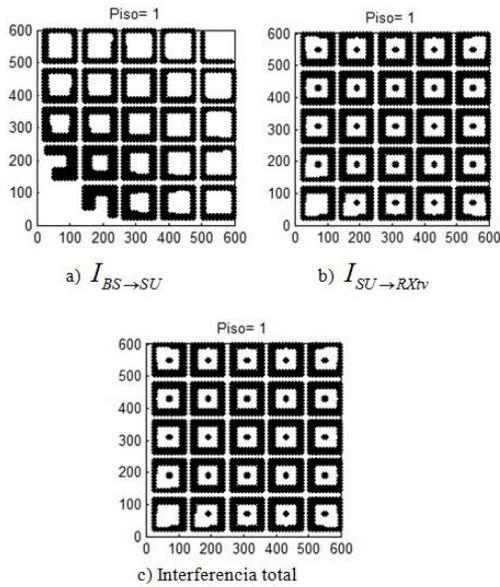
### A. Caso A

En el CASO A se asume que la BS se encuentra en la azotea de un edificio localizado en una de las esquinas del escenario de estudio, además los RX<sub>TV</sub> están distribuidos sobre la azotea de cada uno de los edificios. La potencia de transmisión de la BS se obtiene mediante la expresión (1) para la cual se tomó en cuenta el enlace que existe entre la BS y el RX<sub>TV</sub> más lejano, lo cual da como resultado una potencia de transmisión de 42.20 dBm.

La Figura. 4., muestra los habitáculos que son afectados por las condiciones de interferencia

(2) y (3) de manera independiente en la planta más baja (i.e. piso 1) para un escenario con edificios de cuatro pisos de altura, en donde el color blanco representa las zonas donde las condiciones de interferencia planteadas se cumplen, por otro lado el color negro representa el caso donde las condiciones de interferencia no se cumplen. Como se aprecia en la Figura. 4b, la interferencia más restrictiva es la causada por los SU's a los receptores RX<sub>TV</sub> debido a la alta densidad de SU's y RX<sub>TV</sub> en el escenario de estudio (i.e. SU en cada habitáculo y RX<sub>TV</sub> sobre cada edificio). Por otro lado la Figura. 4c., muestra la superposición de las condiciones de interferencia, lo que va a determinar la disponibilidad espacial del canal, cabe destacar que esta figura corresponde a la superposición de las figuras a y b. De tal manera que ambas condiciones deben de cumplirse para que dentro del habitáculo sea posible hacer el reuso del espectro.

La Tabla III muestra el porcentaje de habitáculos disponible por cada condición de interferencia así como el porcentaje de habitáculos disponibles dadas la superposición de las dos condiciones de interferencia en (2) y (3), para todos los pisos en un escenario con edificios de 4 pisos. De la tabla podemos observar tal como se mencionó anteriormente que la interferencia que causan los SU's a los receptores RX<sub>TV</sub> es aquella que restringe en mayor proporción la disponibilidad del canal en la planta más baja teniendo apenas un 1,19% de disponibilidad. Nótese que entre más cerca se encuentren los dispositivos del sistema secundarios a los dispositivos del sistema primario (i.e. RX<sub>TV</sub>), menor es la disponibilidad. En particular se aprecia que este efecto es más representativo cuando los secundarios están más cerca de los RX<sub>TV</sub>, así por ejemplo en la primer planta se cumple en 52.52%, mientras que en la cuarta planta la condición 2 se cumple apenas en un 1.19%. Esto se debe a; que entre más lejos estén los dispositivos del SU's a los RX<sub>TV</sub> el nivel de potencia de los SU's va a disminuir dada la cantidad de paredes y pisos que la señal tiene va a atravesar, disminuyendo así el nivel de interferencia en los receptores RX<sub>TV</sub>. Este efecto también se ve reflejando en la disponibilidad total así en la 1er planta la disponibilidad es de un 48,31% y en la 4ta planta no existe disponibilidad.

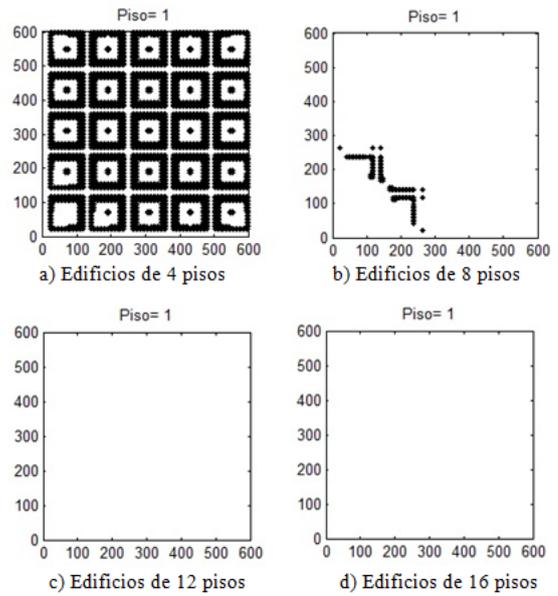


**Figura 4.** Resultado de cada condición de interferencia y disponibilidad espacial total en la planta baja para edificios de 4 pisos.

**Tabla III.** Configuración de disponibilidad

Porcentaje de Disponibilidad				
Condición de Interferencia	1er Piso	2do Piso	3er Piso	4to Piso
Bs a SU	61.95	44.47	33.89	22.42
SU a RX <sub>TV</sub>	52.52	36.72	18.12	1,19
Disponibilidad Total	48.31	32.21	14.37	0

Sin embargo existe variación en la disponibilidad espacial del canal cuando cambia la altura de los edificios así por ejemplo en la Figura 5., se muestra la disponibilidad espacial en la planta más baja para edificios de 4, 8, 12 y 16 pisos de altura. De la figura podemos observar que a medida que se incrementa el número de pisos, la disponibilidad espacial del canal va a aumentar de manera significativa en la planta más baja, debido a que los dispositivos del sistema primario (i.e. BS y RX<sub>TV</sub>) se encuentran cada vez más alejados de los dispositivos secundarios, reduciendo así los niveles de interferencia. Así en la Fig. 5a, para un escenario de 4 pisos la disponibilidad espacial en la planta más baja es del 48,31% mientras que en la Figura 5b para un escenario con edificios de 8 pisos la disponibilidad en la planta más baja aumenta a un 99.02% es decir aproximadamente un 50% más de disponibilidad mientras que para 12 y 16 pisos de altura la disponibilidad del canal es del 100%, con lo cual se cuenta con un canal totalmente disponible para un acceso oportunista.



**Figura 5.** Disponibilidad espacial del canal en la planta baja para escenarios con diferentes alturas.

De manera general en la Figura 6., se muestra la disponibilidad espacial del espectro para todos los pisos de los diferentes escenarios. De la gráfica observamos que la disponibilidad en el último piso es del 0% para todos los edificios debido a la cantidad de dispositivos RX<sub>TV</sub> que se encuentran en la azotea de los edificios, además podemos observar que para edificios de ocho pisos el 50% de disponibilidad se encuentra en la mitad del número pisos (i.e. 4to piso) y va aumentando a medida que van aumentando el número de pisos teniendo 7 pisos con más del 50% de disponibilidad para un escenario de 12 pisos y 11 pisos para un escenario de 16 pisos. Además podemos observar que para edificios de 12 pisos, los tres primeros pisos tienen 100% de disponibilidad y para edificios de 16 plantas los seis primeros pisos tienen de la misma manera 100% de disponibilidad.



**Figura 6.** Disponibilidad espacial del canal para escenarios de varios pisos

### B. Caso B

En el caso B se realiza un análisis espacial y temporal de la disponibilidad de un canal de un canal

de TV en la de UHF. Para el estudio espacial se ha considerado los resultados obtenidos en el caso A en el cual se obtuvo que la disponibilidad total para edificios de cuatro pisos es de 23.72% para edificios de ocho pisos 50.27% para edificios de doce pisos 55.99% y finalmente para edificios de diez y seis pisos 66.88%. Para el estudio temporal se ha considerado un estudio de disponibilidad temporal en la banda UHF de Televisión realizado en la ciudad de Guayaquil - Ecuador [13], dicho estudio provee la disponibilidad temporal que puede existir de cierto canal en una zona urbana, debido principalmente a la intermitencia que presentan ciertos canales en una zona determinada. De manera que a más de la disponibilidad espacial ya encontrada en el caso A, temporalmente esta puede verse incrementada. La Figura 7 muestra la disponibilidad temporal de tres canales de TV, a) un canal totalmente ocupado b) un canal intermitente y c) un canal totalmente disponible, los mismos que corresponden a los canales 42, 43 y 44. Ésta disponibilidad se determinó mediante el cálculo del ciclo de trabajo (DC) [13]. De manera que, se estableció que aquellos canales que poseen un DC inferior al 50% se encuentran disponibles, caso contrario se encuentran ocupados. Por lo tanto, si un canal de TV se encuentra disponible temporalmente en la banda UHF de TV, su disponibilidad espacial será 100 % caso contrario, su disponibilidad se restringe estrictamente a las condiciones de reúso de canal mencionadas en la sección III.

canal presenta un comportamiento intermitente en cuanto a la transmisión de la señal de TV, la Figura 8 muestra el porcentaje de disponibilidad del canal en función del tiempo, vemos así que desde la 1:00 hasta las 7:00 la disponibilidad del canal ha aumentado a un 100% para todos los pisos de los diferentes edificios ya que el canal no está siendo usado, mientras que a las 8:00 la disponibilidad del canal se restringe a la disponibilidad que este presente espacialmente.

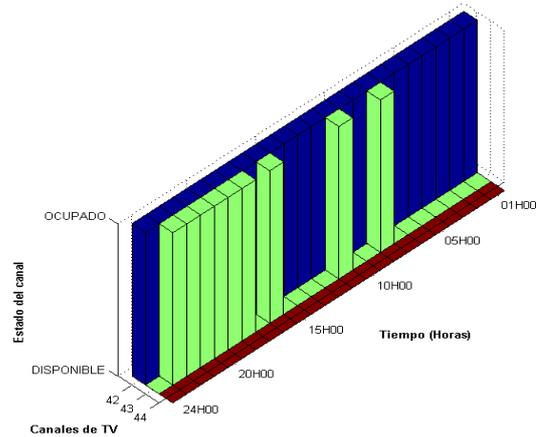


Figura 7. Disponibilidad temporal de ciertos canales de TV

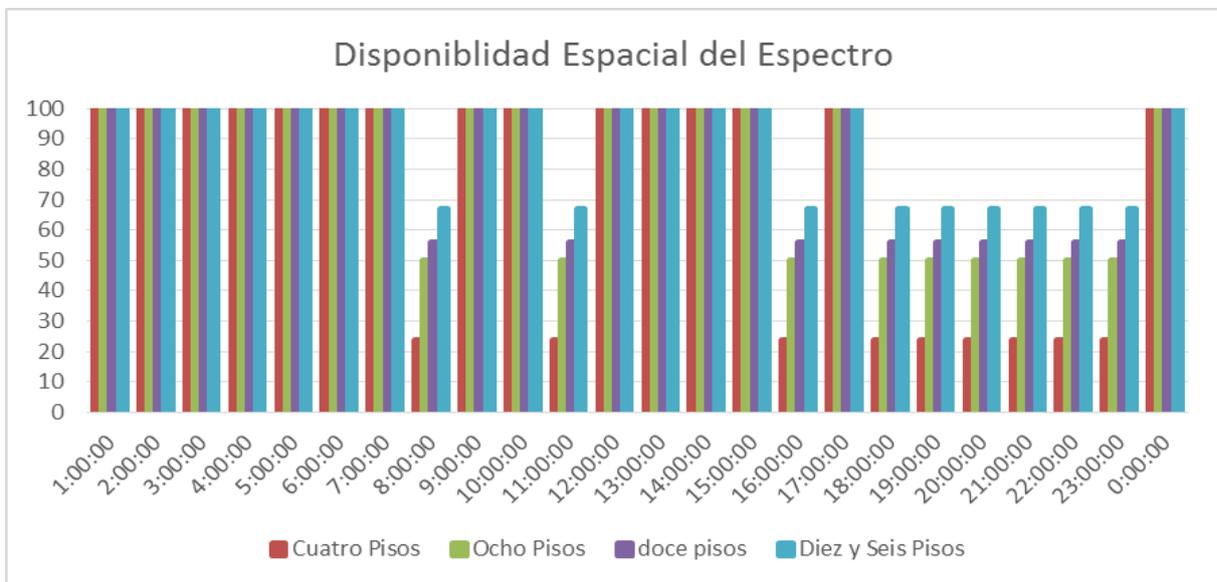


Figura 8. Porcentaje de Disponibilidad del canal en función del Tiempo

## 6. Conclusiones

En este paper hemos cuantificado la disponibilidad espacial del espectro para zonas urbanas densas, identificando las diferentes áreas en las cuales se puede reusar el espectro licenciado de manera oportunista. Mediante el análisis de condiciones para el reúso del espectro y el uso de modelos de propagación para exteriores, interiores y penetración de edificios se pudo determinar en porcentaje cuánto es el área en las cuales se pueda aplicar tecnologías OSA, además hemos analizado como varía la disponibilidad de acuerdo a la configuración del número de pisos. Como trabajos futuros se puede considerar la comparación de los resultados obtenidos mediante simulación con datos obtenidos en mediciones de campo.

## 7. Agradecimientos

Se agradece de manera especial a todos los profesores e investigadores del Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (GICOM) por su colaboración en la elaboración de este trabajo.

## 8. Referencias

- [1] Cruz, A.; Melo, V.; Rodriguez, J "Ampliación de red inalámbrica de la universidad de Lucerna".
- [2] Osona, D.; Ocampo, F.; Hincapié R "Aplicación de Esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en Ambientes Inalámbricos Heterogéneos".
- [3] Wifisafe, "Factores que afectan al funcionamiento de las redes wireless," <http://www.wifisafe.com/blog/factores-afectan-al-funcionamiento-de-las-redes-wireless/> fecha de publicacion noviembre del 2013.
- [4] Unawong, S.; Miyamoto, S.; Morinaga, N., "Techniques to improve the performance of wireless LAN under ISM interference environments," Communications, pp.802, 805 vol.1.; 18-22 Oct. 1999.
- [5] J. Galán-Jimenez.; J. L. González-Sánchez.; "Estudio analítico y evaluación de los efectos entre tecnologías de comunicaciones inalámbricas, 2007.
- [6] Yue Ling Che; Rui Zhang; Yi Gong, "Opportunistic spectrum access for cognitive radio in the presence of reactive primary users," Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference, vol., pp.1,5, 5-9 Junio 2011.
- [7] Rashid A. Saeedm.; Rania A. Mokhtar.; Technologies of information and telecommunications (SETIT), 6th International Conference on Sciences of Electronics, 2012.
- [8] Miguel Lopez-Benitez and Fernando Casadevall "A Radio Spectrum Measurement Platform for Spectrum Surveying in Cognitive Radio"
- [9] Dezhang Chen; Jingjing Yang; Jida Wu; Hao Tang; Ming Huang, "Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network," Comunicaciones en China (ICCC), 2012 Primera Conferencia Internacional IEEE, vol., pp.739,744, 15-17 Agosto 2012.
- [10] Novillo, F.; Galeana, H.; Ferrus, R.; Agusti, R., "Spectrum availability in indoor locations for opportunistic spectrum access in dense urban scenarios," Conferencia de tecnología vehicular VTC, 2009. IEEE 69th , vol., pp.1,5, 26-29, Abril 2009.
- [11] K. Nishimori.; H. Yomo.; "Cognitive radio operation under directional primary interference and practical path loss models," IEICE Trans. Comu., Vol.E94-B, No.5 Mayo 2011.
- [12] COST (European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research), COST 231 Book, Final Report. Chapter 4, Propagation Prediction Models.
- [13] M. Coronel.; L. Artieda.; "Análisis espectral para la implementación del estándar IEEE 802.22 en el Ecuador", publicado en 2014.