

# Un Sistema de Radio Inteligencia en la Capa de Comunicación de una Red Eléctrica Inteligente

**Héctor Poveda**

Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, Panamá, hector.poveda@utp.ac.pa

**Fernando Merchán**

Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, Panamá, fernando.merchan@utp.ac.pa

**Jean Montiel**

Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, Panamá, jean.montiel@utp.ac.pa

## ABSTRACT

Nowadays, there is a great interest for efficient usage of the electric energy. One of the latest trends to contribute to this issue is Smart Grid (SG). This grid allows knowing real-time energy consumption by using information and communication technology (ICT). The use of wireless communications has been considered among these technologies because they reduce infrastructure cost, are scalable and may have higher penetration. However, nowadays there is a spectrum scarcity for a wireless communication. One proposed solution to solve this scarcity is the cognitive radio (CR) technique. This technique allows a dynamic spectrum access which is different from traditional methods of static access. A CR can sense different frequency bands and make use of these when not being used by the proprietary user of the band during a determined time. This paper presents the use of the CR technique in SG. Simulation results clearly show the interests and benefits of CR used in a SG.

**Keywords:** Cognitive Radio, Dynamic Spectrum Access, Interweave, Primary user, Smart Grid.

## RESUMEN

En la actualidad existe un gran interés por el uso eficiente de la energía eléctrica. Una de las últimas tendencias para contribuir a este uso eficiente es “Smart Grid” (SG). Esta red permite conocer el consumo energético en tiempo real a través del uso de tecnologías de información y comunicación (TIC). Entre estas tecnologías se ha considerado el uso de las comunicaciones inalámbricas, ya que reducen el costo en infraestructura, son escalables y pueden tener mayor penetración. Sin embargo, hoy en día, existe una escasez del espectro de frecuencias para una comunicación inalámbrica. Una solución propuesta para combatir esta escasez es la técnica de radio inteligencia (RI). Esta técnica permite un acceso dinámico al espectro, a diferencia de los métodos tradicionales de acceso estático. Una RI puede sensor diferentes bandas de frecuencias y hacer uso de las mismas cuando no están siendo utilizadas por el usuario propietario de la banda durante un tiempo determinado. Este trabajo presenta el uso de la técnica de RI en SG. Los resultados de simulación muestran claramente los intereses y beneficios de RI en REI.

**Keywords:** Radio Inteligencia, Acceso Dinámico al Espectro, Interweave, Usuario primario, Red Eléctrica Inteligente.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de la energía eléctrica es un tema de gran importancia para muchos países. Desde el punto de vista financiero, este uso eficiente permite atenuar el impacto económico del alto costo de los combustibles fósiles, y posibilita postergar inversiones en infraestructura de generación de energía (Lo y Ansari, 2012).

Las redes eléctricas inteligentes (REI) surgen como una vía para lograr un uso eficiente de la energía eléctrica. Una REI es un conjunto de sistemas que hace uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la eficiencia y aumentar la confiabilidad del sistema de distribución eléctrica. De esta manera, una REI puede satisfacer las necesidades del consumidor y hacer uso eficiente de la energía (Lo y Ansari, 2012).

Diversas tecnologías de comunicación han sido consideradas para la implementación de una REI. Entre las tecnologías de tipo cableado más destacadas podemos mencionar: “HomePlug”, comunicación por línea de energía, fibra óptica, “ethernet”, entre otras. Adicional, las tecnologías de tipo inalámbricas han sido evaluadas como: WiFi, ZigBee, WiMAX y la telefonía celular (Parikh et al., 2010). Las comunicaciones inalámbricas en comparación con las tecnologías de tipo cableada presentan las ventajas de su bajo costo en infraestructura, fácil escalabilidad y mayor penetración. Sin embargo, debido al auge de las comunicaciones inalámbricas y la gran cantidad de sistemas que hacen uso de ella, se ha presentado una escasez del espectro de frecuencias. Para solventar esta situación surge una técnica conocida como radio inteligencia (RI). Los sistemas de RI son sistemas de comunicación inalámbrica que realizan un acceso dinámico al espectro de frecuencias, a diferencia de los sistemas de inalámbricos convencionales que hacen un uso estático del espectro (Maisonnat y Poveda, 2013).

Tanto la REI como RI son dos prominentes tecnologías que pueden funcionar en conjunto para hacer un uso eficiente de la energía eléctrica y al mismo tiempo hacer un uso eficiente del espectro. Varios trabajos que estudian el uso de la RI en REI han sido presentados. Particularmente, en (Gungor y Dilan 2013), los autores hacen una revisión de las aplicaciones de una REI basadas en RI. En (Rong et al., 2011), los autores proponen utilizar la RI en todas las etapas de comunicación de una REI. En (Qiu et al., 2011), los autores analizan la RI en la comunicación para la última milla de la REI. Adicional, el documento propone utilizar diferentes técnicas de procesamiento de señal para reducir la cantidad de información proveniente de los medidores inteligentes. En (Dong et al., 2012), los autores también se centran en la última milla. Este trabajo hace un análisis de la probabilidad de pérdida de paquetes de información cuando se utiliza el acceso dinámico al espectro. Los trabajos arriba descritos muestran los beneficios de utilizar una arquitectura de RI en un REI. Sin embargo, los autores no dan detalles del tipo de acceso dinámico al espectro que utilizan. En (Ghassemi et al., 2010), los autores proponen utilizar la RI para diseñar una red de área ancha de comunicación para una REI. En (Fatemieh et al., 2010), los autores proponen utilizar la RI para realizar toda la comunicación en una REI. Tanto en (Ghassemi et al., 2010) y (Fatemieh et al., 2010) los autores proponen utilizar un sensado del espectro para transmitir en las bandas de libres de televisión. Sin embargo, los autores no dan detalles del tipo de técnicas de sensado que utilizan para realizar esta transmisión

El presente documento también hace un estudio de la RI en una REI. A diferencia de los trabajos arriba descritos se hace un análisis de una técnica de sensado del espectro en particular. Nuestra contribución en este documento es doble. Primero se hace un análisis de la utilización de la RI en las diferentes etapas de comunicación de una REI. Y segundo se hace un estudio del uso de la RI utilizando un sensado del espectro basado en un detector de energía en la comunicación de última milla de una REI.

El desarrollo de este documento es de la siguiente manera: la sección 2 abarca el concepto de la técnica RI. Mientras la sección 3 cubre el tema de una REI explicando los factores que llevan a su implementación, sus objetivos y capas en la que está dividida. La sección 4 es el punto en donde se busca identificar en qué área es conveniente aplicar RI en una REI. Los gráficos, resultados de simulación realizados y análisis se muestran en la sección 5. Y por último, la sección 6, presenta una conclusión sobre las conjeturas y resultados.

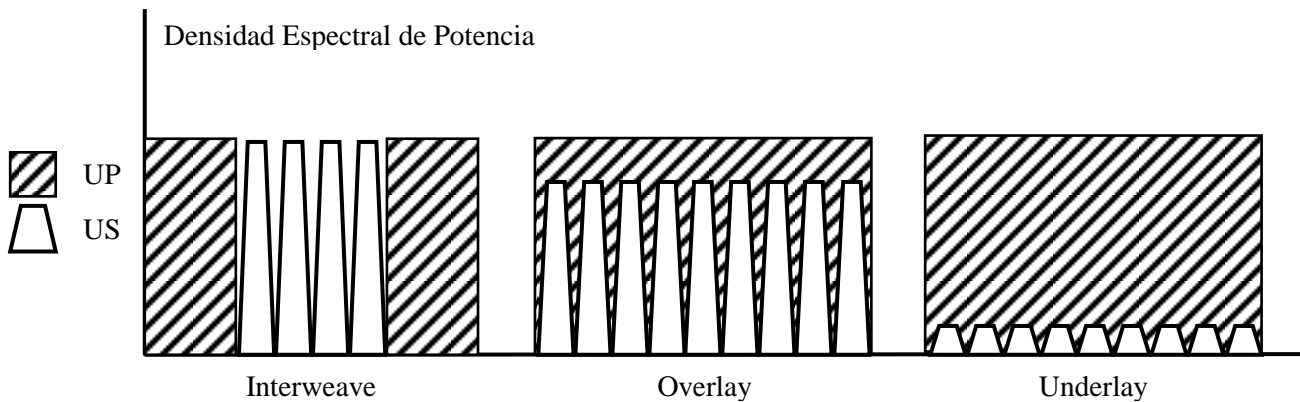
## **2. RADIO INTELIGENCIA**

La RI busca hacer un uso dinámico del espectro de frecuencias modificando sus parámetros de transmisión y recepción. La RI puede sensar y adaptarse al medio de transmisión dependiendo de las frecuencias disponibles en cada localización e instante de tiempo. Los sistemas RI tienen por objetivo operar en bandas de frecuencias ya ocupadas sin afectar la calidad de servicio de los sistemas propietarios de estas bandas.

En un contexto de RI existen dos tipos de usuarios: el usuario propietario de la banda de frecuencia y el usuario no propietario. El usuario propietario es aquel que tiene licencia sobre una banda de frecuencias y puede acceder a

ella en todo momento, es conocido como usuario primario (UP). El usuario no propietario, conocido como usuario secundario (US), es aquel que no es dueño de una banda de frecuencia y pretende transmitir en ella accediendo de forma dinámica sin interferir con el UP (Maisonnat y Poveda, 2012).

Los sistema de RI se conciben en base a tres paradigmas en lo que respecta el acceso oportunista al espectro: “Underlay”, “Overlay” o “Interweave”. Ver Figura 1. Estos paradigmas de acceso no están presentes en la regulación actual y son objeto de análisis y estudios (Maisonnat y Poveda, 2012).



**Figura 1: Formas de implementar la técnica de Radio Inteligencia (Zurutuza, 2012).**

“Underlay” y “overlay” son paradigmas donde los USs y UPs transmiten a la vez. La diferencia es que en “underlay”, el US transmite sabiendo que debe mantenerse debajo de un umbral de potencia para evitarle interferencias al UP. En “overlay”, el US debe conocer las técnicas empleadas en la transmisión del UP y la codificación que emplea. El objetivo es usar un esquema de codificación que permita una transmisión simultánea con el UP, sin afectar la calidad de servicio del mismo (Maisonnat y Poveda, 2012).

Por su parte, el paradigma “interweave” identifica porciones disponibles de espectro para un específico tiempo y ubicación geográfica utilizando estos huecos para transmisiones inteligentes sin licencia. Estos espacios en blanco se refieren a bandas de frecuencia en la que un US puede transmitir sin causar interferencias a un receptor primario (Maisonnat y Poveda, 2012).

El sistema de RI que estudiamos en este documento está basado en un acceso de tipo “interweave”. Este tipo de acceso tiene un menor nivel de complejidad de implementación en comparación con “underlay” y “overlay”. Además no requiere información previa de UP.

Para detectar estos espacios en blanco se utilizan técnicas de sensado. Estas técnicas deben ser suficientemente robustas para evitar errores de decisión. Además, requieren ser capaces de detectar niveles bajos de señal, tener presente las incertidumbres que puede causar un canal inalámbrico por sus efectos de multitrayectos, dispersión, shadowing, así como los efectos del ruido y la interferencia agregada por haber muchos US transmitiendo.

Una de las técnicas que resulta más atractiva para ser implementada en un sistema de RI de tipo “interweave” es la detección de energía, debido a que no requiere información de la técnica de transmisión de UP. Por esta razón, es la técnica que proponemos utilizar en el presente estudio (Maisonnat y Poveda, 2012).

### 3. RED ELÉCTRICA INTELIGENTE

La REI es un sistema eléctrico caracterizado por el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en la generación, distribución y consumo de la energía eléctrica. Al hacer uso de estas tecnologías se busca brindar un servicio más eficiente, confiable y seguro (Lo y Ansari, 2012).

La REI surge a partir de diferentes factores fundamentales de las cuales se pueden destacar las cinco más importantes: envejecimiento de la infraestructura, aumento de la demanda de energía, deterioro en la

confiabilidad, limitación de innovación y modernización, e integración de recursos energéticos distribuidos. El envejecimiento de la infraestructura pone en peligro las operaciones de transporte de la energía eléctrica debido al deterioro de los equipos. Con los años se ha dado un crecimiento en la población mundial suponiendo esto un incremento de la demanda de energía. Sin crear conciencia en los consumidores sobre el uso adecuado de la energía, ésta puede resultar incontrolable en un futuro. La sociedad y las compañías proveedoras de servicios pueden resultar perjudicadas a largo plazo si no se cambia la infraestructura y los métodos de operación. Por último se tiene que es necesaria la integración de recursos energéticos distribuidos (e.g. energías renovables y vehículos interconectables a la red) debido al alza en el costo del combustible (Lo y Ansari, 2012).

Basado en estos factores antes mencionados la REI busca solucionarlos para cumplir con sus objetivos: satisfacción del consumidor, impacto ambiental, eficiencia energética y eficiencia operacional. Para lograr satisfacer al consumidor se debe hacer entrega de la energía de una manera más confiable, esto involucra disminución de las interrupciones, cortes y estabilidad del voltaje. En cuanto al impacto ambiental, el principal objetivo es disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero e implementar recursos de energía renovables. La eficiencia energética involucra la reducción de la pérdida del sistema, gestión de picos y distribución, y un mejor uso de los equipos. En tanto la eficiencia operacional se logra con la reducción de costo de medidores, monitoreo y control de equipos viejos, e integración de generación distribuida (Flynn et al., 2007).

Debido a la gran magnitud física y operacional de una REI es importante dividir las funciones de lo cual se obtienen cinco capas dominantes: capa de aplicación, capa de seguridad, capa de comunicación, capa de control y capa de potencia. La capa de aplicación da soporte en las decisiones con ayuda de las tecnologías de información y comunicación. La capa de seguridad busca que la información sea transportada de la manera más confiable e ininterrumpidamente posible. La transferencia de datos de una forma más segura y efectiva está a cargo por la capa de comunicación atendiendo a los requerimientos de las diferentes aplicaciones. La capa de control permite el monitoreo y diagnóstico de equipos haciendo uso de sensores y sistemas de control. Por último, la capa de potencia que está a cargo de la generación, distribución, almacenamiento y consumo (Lo y Ansari, 2012).

Ya que una REI está basada en el uso de las TICs, el análisis de la capa de comunicación resulta imprescindible. Ésta infraestructura de comunicación está compuesta esencialmente por cuatro sectores de red: el núcleo, media milla, última milla y red local (Lo y Ansari, 2012). El núcleo da soporte de conexión entre las subestaciones y los centros de control. La media milla establece el intercambio de información de los concentradores de datos de una infraestructura de medición avanzada (AMI) con la automatización de la subestación/distribución y los centros de control asociados a las operaciones de las CPS. La última milla es la encargada de transportar los datos desde los medidores inteligentes hacia los concentradores de datos. Por último, la red local es la encargada de la comunicación en industrias, edificios y residencias en donde los equipos y artefactos comunican su consumo hacia los medidores inteligentes de la AMI (Lo y Ansari, 2012). La Figura 2 muestra tres sectores de red:

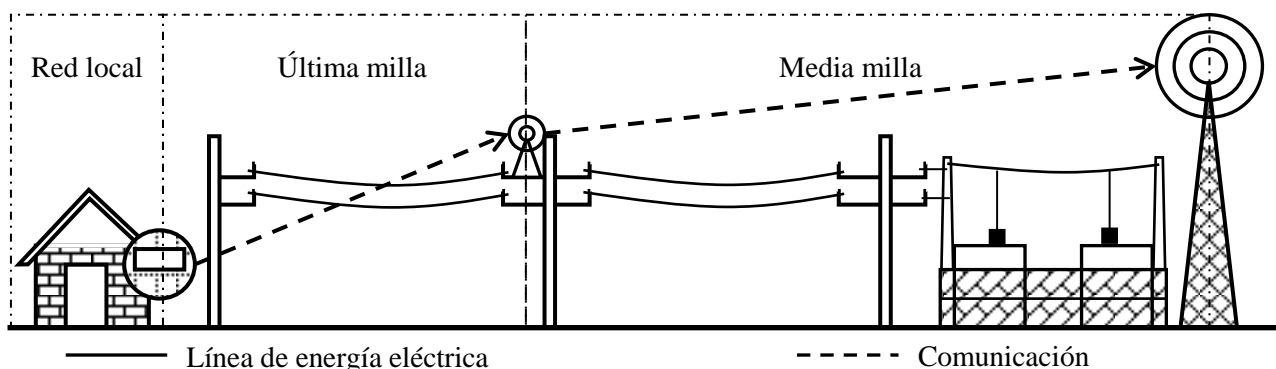


Figura 2: Capa de comunicación de una REI.

#### 4. RADIO INTELIGENCIA APLICADA A LA RED ELÉCTRICA

La idea de las redes eléctricas inteligentes es evidentemente beneficiosa en muchos aspectos, en el medio

Summer Research Internship 2015

ambiente, en el consumidor, en el sistema eléctrico, entre otros, por lo que su implementación debe ser evaluada y tomada en consideración.

Sin embargo, no es factible usar RI en todas las etapas de comunicación de un sistema SG. Una gran cantidad de usuarios que utilicen esta tecnología pueden llegar a complicar de manera importante el proceso, el sensado, las decisiones de acuerdo a las normas, e incluso, pueden causar interferencias en el sistema de comunicación de SG. Por consiguiente, se debe investigar la manera en que estos usuarios puedan compartir los espacios blancos sin interferir unos con otros.

Cabe resaltar que los requerimientos sugeridos por organizaciones con experiencia en el área de las telecomunicaciones y del mercado eléctrico son alcanzados e incluso sobrepasados por los estándares en desarrollo en el área de RI. Por consiguiente, RI es una tecnología que puede ser implementada en cualquier sector de SG según estos requerimientos. No obstante, otras dificultades deben ser tomadas en consideración al momento de definir la factibilidad de su implementación en los diferentes sectores.

A continuación se presenta un análisis que identifica en qué sectores de la capa de comunicación de SG es adecuada la implementación de la técnica de RI:

#### **4.1 RED LOCAL**

Este primer sector es aquel donde las comunicaciones inalámbricas no necesitan tener un largo alcance y tampoco una alta velocidad de transmisión. Dicho esto se puede establecer una comunicación por medio de la tecnología Zigbee (Qiang et al. 2010), ya que ésta es apta para comunicaciones de baja potencia en áreas personales, como es el caso de la comunicación del consumo entre los equipos electrónicos y el medidor. Sin embargo, el reto de este sector es la interferencia a causa de las tecnologías inalámbricas heterogéneas ya que operan en la banda de frecuencia sin licencia de 2.4 GHz. Aplicar RI le daría una habilidad a estos artefactos y/o electrodomésticos de transmitir en esta banda de frecuencia con una óptima velocidad de transmisión y un reducido nivel de interferencia (Lo y Ansari, 2012). Debe tomarse en cuenta el posible costo elevado que implicaría el uso de RI en cada artefacto o tecnología dentro de un área local. Por ende, el uso de RI en este sector debe darse cuando un estudio demuestre que la eficiencia energética obtenida es superior al costo de implementación o cuando aún no sea posible solventar la problemática de interferencia ante tecnologías inalámbricas heterogéneas.

#### **4.2 ÚLTIMA MILLA**

Es uno de los sectores con mayor condición para la implementación de RI el cual comunica los medidores inteligentes (MI) con los concentradores de datos. En (Fatemieh et al., 2010) los autores proponen el uso de RI aprovechando las bandas de frecuencias de televisión libres utilizando el modelo “Interweave”. En esta área la comunicación inalámbrica es muy densa, sin embargo no todos los sistemas utilizan sus frecuencias en un cien por ciento del tiempo. Inclusive, recientes mediciones en Estados Unidos muestran que sólo una fracción del espectro en las bandas de 30 a 2900 MHz son utilizados en un tiempo determinado (Maisonnat y Poveda 2012). En (Qiu et al., 2011), los autores analizan la RI en la comunicación para la última milla de la REI. Adicional, el documento propone utilizar diferentes técnicas de procesamiento de señal para reducir la cantidad de información proveniente de los medidores inteligentes. En la sección 5 se hace un análisis más a fondo de esta etapa de la comunicación en una REI.

#### **4.3 MEDIA MILLA**

Es un sector donde RI puede resultar factible. En esta área, muchos investigadores concluyen con el uso de las comunicaciones celulares lo que conlleva a utilizar servicios inalámbricos bajo licencia. Esto incurriría en un alto costo de transmisión en esta área (Dong et al., 2012). El ambiente en el que está expuesto es similar al de última milla, sin embargo, en este sector es necesaria una mayor velocidad de transmisión y baja latencia debido a la cantidad y el estado crítico de los datos que se transportan. Por lo tanto, RI, basado en el modelo de regulación “interweave”, debe ser más robusta y confiable que en la última milla.

#### **4.4 NÚCLEO**

Es un sector donde la comunicación entre subestaciones y de subestación a un centro de control es muy importante requiriendo un sistema de comunicación mucho más robusto, confiable y seguro que los anteriores. La comunicación por fibra óptica es la tecnología más habitual y recomendada en esta área, ya que presenta las características de requerimientos de muy baja latencia y una gran velocidad de transmisión debido a las funciones y cantidad de datos que este sector gestiona. Aplicar RI podría no ser factible debido a la importancia de los datos los cuales no pueden ser considerados como secundarios, además de ser vulnerables a ataques externos. Si acciones inmediatas necesitan ser ejecutadas, el procesamiento de sensado de esta tecnología puede resultar en un retardo importante para la toma de decisiones.

### 5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

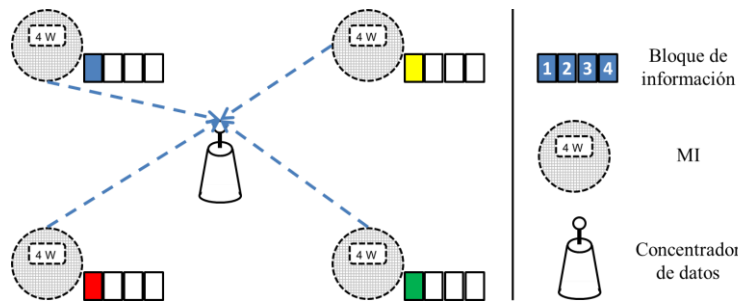
La última milla es la capa de comunicación evaluada en la simulación por ser de mayor relevancia en las investigaciones de los sistemas REI, dado que en este punto es donde se mide el uso eficiente de la energía por parte de los consumidores. Se tomó en cuenta tres elementos importantes en esta simulación: UP, el detector de energía y US. El primero transmite su información de manera aleatoria a través de un canal selectivo en frecuencia utilizando la técnica de multiplexión por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

El segundo elemento, el detector de energía, es el método de detección más simple dado que no requiere conocer de antemano información de UP. Por lo tanto, no posee un complicado procesamiento de señal y tiene baja complejidad de desarrollo (Maissonat y Poveda).

Esta técnica de detección se basa en dos pruebas de hipótesis simples: la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Se considera  $H_0$  cuando UP está ausente, es decir, que sólo se tiene ruido. Mientras que  $H_1$  representa la presencia de UP más ruido. El objetivo de esta técnica es decir cuál de estas dos hipótesis es correcta ante la señal medida. De esta forma, el funcionamiento de un detector puede ser evaluado a través de dos métricas de rendimiento general: la probabilidad de falsa alarma ( $P_{FA}$ ) y la probabilidad de detección ( $P_D$ ). Cuando ocurre una falsa alarma esto indica que el detector ha decidido por  $H_1$  cuando verdaderamente es  $H_0$  debido a un bajo nivel de umbral.

El tercer elemento utilizado en la simulación es US. Estos acceden de manera oportuna a las bandas de frecuencias que no están siendo utilizadas por UP. En este caso son los MIs los que se comportan como US. Se ha tomado una cantidad de cuatro MIs que transmitirán simultánea y oportunamente utilizando la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA). La cantidad de subportadoras establecidas es de 64 donde se asigna 16 de ellas a cada MI. Se establece que la duración de un símbolo OFDMA es de 4  $\mu s$  y la transmisión de la información es de 1000 símbolos.

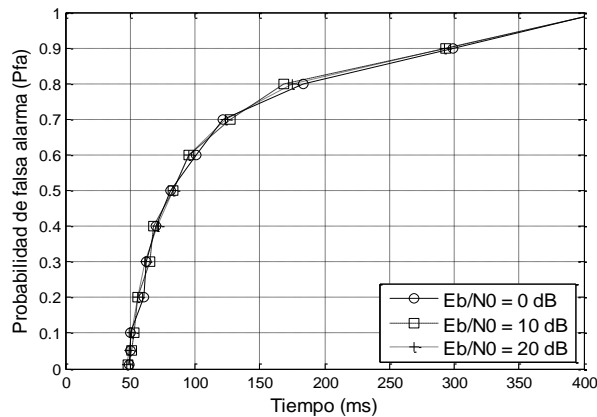
Al tener 4 MIs y asignar cada una de ellas a 16 subportadoras de las 64 disponibles, se tiene que un solo MI requerirá acceder de manera oportuna al espectro 4 veces para así transmitir su bloque de información. La Figura 3 representa la transmisión de  $\frac{1}{4}$  del bloque de información de cada MI hacia el concentrador de datos.



**Figura 3: Transmisión de datos de los medidores inteligentes hacia el concentrador de datos.**

Ya que  $P_{FA}$  sólo define la eficiencia de detección de los espacios blancos, ella debe establecerse de acuerdo a los

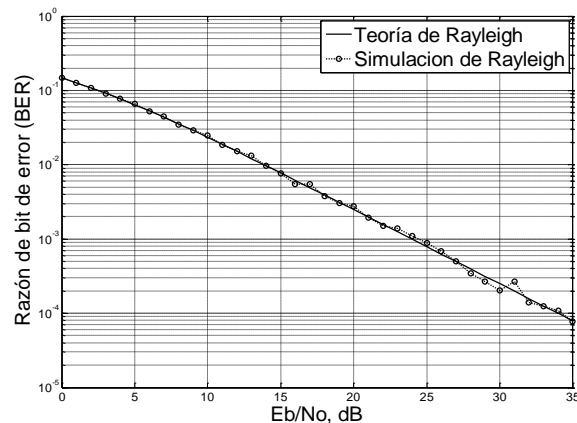
requerimientos de calidad de servicio de una aplicación. La Figura 4 muestra la relación entre la  $P_{FA}$  y el tiempo de latencia en la transmisión de un MI hacia un concentrador de datos.



**Figura 4: Relación entre la probabilidad de falsa alarma y latencia en la transmisión.**

El tiempo de transmisión del bloque OFDM de UP es el mismo que el tiempo de transmisión del bloque OFDMA de los MIs. De esta forma se entiende que el detector de energía tiene una duración de sensado de 4 ms al decidir por  $H_1$ , mientras que al decidir por  $H_0$  el tiempo que transcurre para que la estación base de radio inteligencia vuelva a sensar es el tiempo del espacio blanco de 4 ms más el tiempo de transmisión del MI de 4 ms, resultando en un total de 8 ms. Éste es el tiempo mínimo supuesto como inactividad de MI. De acuerdo al gráfico se entiende que para una pequeña  $P_{FA}$  el tiempo que tarde un MI en transmitir su información es alrededor de 50 ms. Cuanto más alta sea la  $P_{FA}$  mayor es el tiempo que requiere un MI para reportar la información. También se observa que al variar la razón de energía por bit a densidad espectral de potencia de ruido ( $E_b/N_0$ ) se obtiene la misma curva..

La gráfica de la Figura 5 es resultado de la simulación de la transmisión del MI #1 utilizando como técnica de modulación OFDMA en RI. En ella se evalúa el desempeño de esta técnica implementada en el sector de última milla a través del análisis de la razón de bit error (BER). Los otros 3 MI tienen un comportamiento similar. Se observa que para una  $P_{FA}$  alta la información del MI se comporta prácticamente como la curva teórica de rayleigh. Esto demuestra el desempeño más no la eficiencia del detector de energía al transmitir en cada espacio en blanco.



**Figura 5: Transmisión del MI #1 usando RI-OFDMA ( $P_{FA} = 0.9$ ).**

Con estos resultados, basados en los estándares actualmente en desarrollo, se puede comprobar que, específicamente, las latencias sugeridas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. DoE, 2010) para las diferentes aplicaciones de una REI son fácilmente cumplidas aplicando la técnica de RI. De esta forma,

tomando en cuenta el análisis previo de las capas de comunicación donde son factibles la implementación de RI, se puede determinar que las aplicaciones adecuadas para la incorporación de esta tecnología de comunicación son: AMI, respuesta a la demanda, recursos energéticos distribuidos y la automatización de la distribución. El conjunto de estas aplicaciones sugieren una latencia mínima de 100 ms y una latencia máxima de 15 s. Por consiguiente, los 4 ms que resultan en el tiempo de transmisión de un bloque OFDMA de un MI son suficientes, siempre y cuando se establezca una  $P_{FA}$  que permita la transmisión dentro de este rango de tiempo.

## 6. CONCLUSIÓN

En este artículo se explica los conceptos de las técnicas RI. En ella intervienen dos tipos de usuarios: UP y US. UP es dueño de una banda de frecuencia y US es el usuario inteligente. La RI puede ser implementado usando uno de los tres paradigmas: “overlay”, “underlay” e “interweave”. Los dos primeros permiten que el usuario secundario traslape sus datos a una baja potencia, transmitiendo al mismo tiempo y en el momento que lo requiera sobre UP. En tanto, Interweave accede de manera oportuna al espectro sensando el ambiente inalámbrico y transmitiendo cuando UP está ausente, además no requiere tanto conocimiento del canal como los dos anteriores. Una de las aplicaciones prometedoras es en las REI donde ésta busca hacer un uso eficiente de la energía para satisfacer las necesidades del consumidor utilizando las TICs. La REI está dividida en cinco capas dominantes donde la capa de comunicación es el sector en el cual RI puede ser utilizado. Los sectores de la capa de comunicación son: red local, última milla, media milla y núcleo. La última milla y la media milla son los sectores con mayor factibilidad de implementación de la técnica RI promoviendo una eficiente utilización del espectro. El método de sensado utilizado fue el detector de energía. Éste no requiere de un complicado procesamiento de señales.

## REFERENCIAS

- Dong, Q., Niyato, D., & Wang, P. (2012). Dynamic spectrum access for meter data transmission in smart grid: Analysis of packet loss. *IEEE WCNC*, pp. 1817-1822.
- Fatemieh, O., Chandra, R., & Gunter, C. A. (2010). Low cost and secure smart meter communications using the tv white spaces. *ISRCS*, pp. 37-42.
- Flynn, B., Engineer, P. A., & Energy, G. E. (2007). What is the real potential of the Smart Grid. *AMRA International Symposium*.
- Ghassemi, A., Bavarian, S., & Lampe, L. (2010). Cognitive Radio for Smart Grid Communications. *IEEE SmartGridComm*, pp. 297-302
- Gungor, V. & Dilan, S. (2012). Cognitive Radio Network S for Smart Grid Applications. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 7, N°2, pp. 41-46.
- Lo, C. H. & Ansari, N. (2012). The progressive smart grid system from both power and communications aspects. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 14, N°3, pp. 799-821.
- Maisonnat, T. & Poveda, H. (2013). A cognitive way to access the frequency spectrum. *LACCEI Conf.*, pp. 1-3.
- Parikh, P. P., Kanabar, M. G., & Sidhu, T. S. (2010). Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-7.
- Qiang, Z., Yugeng, S., & Zhenhui, C. (2010), Application and Analysis of Zigbee Technology for Smart Grid. *ICCA*, pp. 171-1714.
- Qiu, R., Hu, Z., Chen, Z., Guo, N., Ranganathan, R., Hou, S., & Zheng, G. (2011). Cognitive Radio Network for the Smart Grid: Experimental System Architecture, Control Algorithms, Security, and Microgrid Testbed. *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 2, N°4, pp. 724-740.
- Rong, Y., Zhang, Y., Gjessing, S., Chau, Y., Shengli, X., & Guizani, M. (2011). Cognitive Radio Based Hierarchical Communications Infrastructure for Smart Grid. *IEEE Network*, vol. 25, N°5, pp. 6-14.
- U.S. Department of Energy (2010). Communications requirements of Smart Grid technologies.

### **Authorization and Disclaimer**

*Authors authorize PREC to publish the paper in the conference proceedings. Neither PREC nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*