

# Cálculo de factibilidad y zonas primarias de despliegue en redes rurales de banda ancha con radios cognitivas

Darío M. Goussal

## Resumen

Este artículo describe criterios y resultados para la evaluación de factibilidad de implantación de Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN) en planes de expansión para accesos rurales en banda ancha, con eventual uso de bandas de espectro de espacio blanco y radios cognitivas. Expone métodos y criterios para la determinación de áreas primarias de despliegue con nuevas premisas de adopción y cobertura, en referencia a áreas rurales de Argentina.

*Palabras clave:* Banda ancha rural– Radios cognitivas– Factibilidad– WRAN.

## 1. Introducción

El concepto de red de área regional inalámbrica (WRAN) nació de la búsqueda de alternativas tecnológicas más adecuadas para accesos rurales de banda ancha. El uso potencial de radios cognitivas y sistemas de coexistencia en canales vacantes de la TV abierta se afirmó en 2004 con la formalización de un grupo de trabajo para desarrollar un nuevo estándar internacional: IEEE 802.22. El concepto de radios cognitivas se basa en la idea originalmente propuesta por Joseph Mitola (1999).

IEEE 802.22 plantea el uso subsidiario de canales de TV- DTV en zonas u horarios vacantes mediante técnicas de geolocalización y baliza, sensado inteligente de RF, selección dinámica de frecuencias y autolimitación de la potencia radiada aparente. Procura el aprovechamiento residual de espacios blancos de VHF-UHF entre 54 y 862 Mhz, donde la distribución de última milla mediante macroceldas puede alcanzar dis-

Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Av. Las Heras 727 (3500) Resistencia, Argentina.

tancias considerables. Técnicamente exitosas, las pruebas de campo de algunos productos comerciales en 2013 y 2014 en EE.UU. y Japón enfrentan sin embargo, la cautela de fabricantes y operadores hacia la evolución de expectativas de mercado y cambios regulatorios antes de planificar decisiones de inversión. Las oportunidades de expansión rural de la conectividad en ambientes de coexistencia requieren nuevos criterios de factibilidad en la ingeniería de planeamiento, con el cambio tecnológico obligando a continuas mudanzas y ajustes de modelos. Es importante remarcar el carácter subsidiario de los sistemas de coexistencia para los planes de conectividad en banda ancha en áreas rurales. La alternativa WRAN no se adecua bien a áreas urbanas y tampoco a las semi-rurales con densidades normales de abonados, ó relativamente cerca de la cobertura de otros servicios. Para zonas rurales vecinas a ciudades ó con topologías de “racimos de abonados” existen opciones más baratas, fáciles y mejor adaptadas técnicamente. Las zonas candidatas para conectividad en espacio blanco son las que permanecen sin servicio por estar fuera del interés de proveedores ó de programas de banda ancha del gobierno debido a su baja densidad de abonados, tasas de adopción, ingresos ó aislamiento geográfico. Contra-



intuitivamente, WRAN en bandas de espacio blanco deberían considerarse como una opción de conectividad limitada por densidades máximas de abonados y por máximas tasas de adopción. Nuestro análisis se centrará justamente en la aplicación de la tecnología WRAN con radios cognitivas a tales áreas rurales “duras”.

La mayor parte de los modelos de factibilidad de implantación para redes de banda ancha rural de área regional (WRAN) se elaboraron antes de aprobada la versión final de la norma: Simancas (2006); Wright (2007); Calabrese & Rose (2008); Nekovee (2009); Goussal (2010); Da Silva (2010); Omar et al (2010) y Fitch et al (2011). Sin embargo, en Latinoamérica la variedad de relieves geográficos, tipos de clima, patrones demográficos y de ingreso, y las diferencias en los niveles de conectividad aun dentro de un mismo país hacían poco realista el cómputo de estimaciones de cobertura aplicando directamente las premisas originales, por lo que desde 2009 en la UNNE se ensayaron diversas modificaciones sobre el mismo (Goussal, 2011).

## 2. Reelaboración del modelo de factibilidad

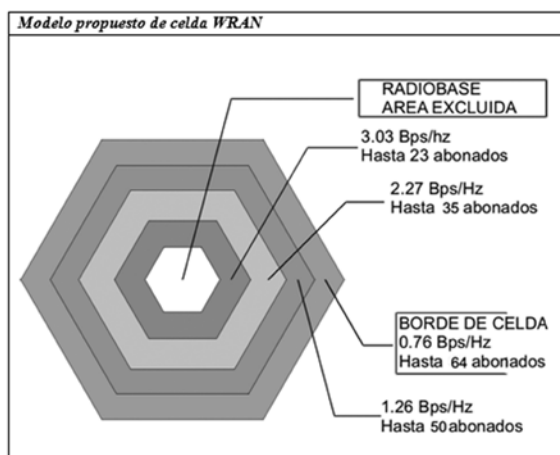
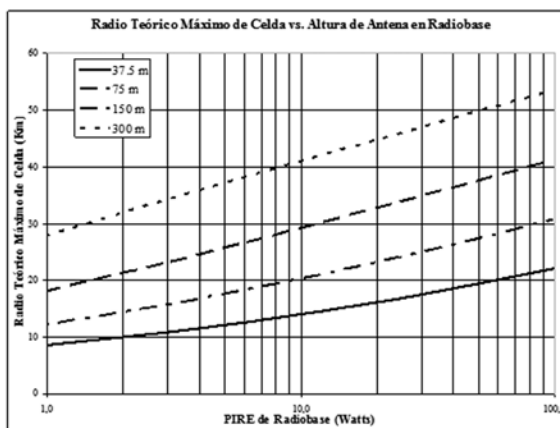
El umbral de operación viable nace de la interacción entre densidades de población y tasas esperadas de adopción del servicio. Cuanto menor fuera el número de viviendas en el área -o de personas por vivienda-, mayor debería ser la esperanza mínima de adopción. Las premisas de factibilidad de implantación de WRAN fueron planteadas originalmente en 2005. El modelo de capacidad adoptado en la norma IEEE 802.22 suponía una macrocelda circular genérica de 30,7 Km (2.960 Km<sup>2</sup>), correspondiente al alcance teórico máximo de una estación base operando en una frecuencia de 617 Mhz (Canal 38 UHF), con una altura de antena de 75 m. irradiando a la potencia límite (4 W, PIRE= 98,3 W). La distribución de densidades de abonado decrecía radialmente del centro hacia el borde de celda con rendimientos espectrales progresivamente menores, desde 5 hasta 1 Bit/Hz. (Fig. 1). Luego, un canal de 6 Mhz vacante del espectro de ATV ó DTV habilitaría 18 Mhz para la distribución, en tanto la eficiencia espectral mantuviera un promedio de 3 Bit/ Hz. Ello permitiría acomodar

hasta 600 abonados rurales por canal de TV en la celda, con similares capacidad y calidad de servicio a una conexión ADSL urbana (384 Kbs de subida y 1,5 Mbs de bajada con una concentración de tráfico de 50:1). Utilizando 3 canales de 6 Mhz vacantes del espacio blanco para tráfico de bajada y 1 para subida, la macrocelda podría servir hasta 4.500 habitantes (1.800 abonados en áreas con 2,5 habitantes por vivienda), arrojando una densidad límite de 1,5 Hab/Km<sup>2</sup>. para celdas de 30,7 Km.

En el modelo de factibilidad de David Wright (2007), el ancho de banda promedio teóricamente disponible por canal de TV (18 Mbps), se reducía a 13,5 Mbps netos una vez deducido el tráfico interno de gestión (supuesto un 25%). Esa estimación llevaba a una capacidad máxima de 358 abonados por celda, bien por sobre el umbral de factibilidad de 90 clientes por radiobase considerado por el IEEE para operación económica. Mantenía sin embargo las mismas premisas de adopción inicial (5 %) con 2,5 personas por vivienda, y una única relación de concentración de tráfico de 50:1, reflejando un intermedio entre los usuales para ADSL (40:1) y cablemodem (80:1). Wright adoptaba en cambio, una celda circular tipo de 17 Km de radio (908 Km<sup>2</sup>), que para la misma adopción inicial exigía una densidad mínima de 5 Habitantes por Km<sup>2</sup>, muy por debajo de la premisa de 60 por Km<sup>2</sup> usual en accesos DSL urbanos.

Nosotros concebimos un modelo más pesimista pero de menor costo, limitando a la mitad la altura de antena de la base y con ello, reduciendo el alcance máximo de celda en zonas de llanura (37,5m /23 Km). Adoptamos densidades de vivienda en lugar de densidades de población con distribución uniforme (y no, radialmente decreciente del centro al borde de celda como en el modelo de Wright). Usando celdas hexagonales de 17 Km perfectamente centradas y uniformemente distribuidas, la zona de servicio macro sin solapamiento alcanzaría 751 Km<sup>2</sup>. Con distribución irregular de abonados radiobases imperfectamente centradas y solapamiento 25%, el área de cobertura neta se degradaría hasta 563 Km<sup>2</sup>. Para radios de 11, 14, 20 y 23 Km., alcanzaría 236, 382, 779 y 1031 Km<sup>2</sup>. Obviamente, en zonas de relieve montañoso podrían desplegar-

se celdas de 30,7 Km y mayores, aprovechando cerros o alturas naturales. Al aprobarse la versión final de la norma (2011), recalculamos con 4 niveles de eficiencia espectral (desde 3,03 hasta 0,76 Bit/Hz), con dos topologías de WRAN -respectivamente, con y sin una localidad rural en el sitio base. En vez del único coeficiente de concentración (50:1), supusimos que éste pudiera reducirse en áreas con abonados de uso intensivo, explotaciones agrarias, escuelas rurales, puestos sanitarios y telecentros comunitarios, ó bien ampliarse para zonas de familias rurales pequeñas y usuarios ocasionales.



Para determinar la ubicación más conveniente de una radiobase WRAN, nuestro modelo considera dos casos típicos en áreas rurales vacantes:

- I. Zonas con al menos un aglomerado poblado adecuado para alojar la radiobase.
- II. Zonas sin aglomerados (únicamente población rural dispersa).

Para celdas tipo I, supusimos que no habrá abonados WRAN en el área contigua a la radio-

base pues no tendría sentido a tan poca distancia compitiendo con tecnologías más sencillas de corto alcance (Wi-Fi) (Fig. 2). Incluso, también deberían excluirse los del segundo hexágono, en WRAN de pequeño radio. Los umbrales de factibilidad, recalculados con la versión 2011 de la norma 802.22 y manteniendo la misma premisa de tasa de adopción inicial (5 %) serían así: las celdas de tipo I, excluyendo el hexágono urbano central tendrían 96,8 % del área total con los abonados rurales allí ubicados. Los abonados del 36 % de probables usuarios situados en el hexágono exterior podrían funcionar con eficiencia espectral mínima (0,76 Bit/Hz modulando en QPSK 1/2). Luego, las del hexágono 4, representando 28 % del área total, podrían funcionar a 1,26 Bit/Hz con modulación QPSK 3/4. En el hexágono interior 3, representando el 20 % del total podrían alcanzar 2,27 Bit/Hz modulando en 16-QAM 3/4; y en el segundo, con 12,8 % del área lo harían a 3,03 Bit/Hz con modulación 64-QAM 2/3. La celda I tipo podría servir hasta 64 usuarios en el hexágono exterior, 50 en el 4º, 35 en el 3º y 23 en el 2º. El total de 172 abonados estaría bien por debajo del rango originalmente adoptado como premisa de cobertura en las recomendaciones de instalación iniciales (Chouinard, 2005).

Al ensayar umbrales de viabilidad de WRANs con distintas opciones de calidad de servicio (concentraciones de tráfico desde 50:1 hasta 10:1), la celda típica permitiría atender hasta 172, 138, 103, 69 y 34 abonados, respectivamente. Para celdas de 11 Km de radio, la máxima densidad de abonados con el coeficiente de concentración más alto sería de 0,47 por Km2 en áreas del Caso I y 0,50 por Km2 en el Caso II, pero el umbral de viabilidad podría llegar a ser tan bajo como 0,031 por Km2 para celdas de 30,7 Km. trabajando con la máxima calidad de servicio (21:1).

El Caso II reflejaría áreas de servicio “rurales puras”, es decir donde todavía no hay población aglomerada (aldeas ó pequeños pueblos). La estación base puede entonces estar en cualquier ubicación, siendo conveniente ubicarla en alturas naturales o compartiendo infraestructura común (torres, contenedores, energía y enlaces a la red troncal). Alternativamente, para reducir

las inversiones y costos de explotación, la radiobase podría ubicarse en el sitio de un abonado intensivo (telecentro, biblioteca ó escuela rural). Al no haber áreas de exclusión en el área de la base la capacidad de servicio sería casi igual con topes ligeramente mayores -desde 53 hasta 190 abonados, con concentraciones de tráfico desde 10:1 hasta 50:1-. Estos nuevos resultados para los Casos I y II arrojan un umbral de 26:1 como concentración mínima permitida para operación viable en zonas de servicio del Caso I, y 21:1 para las del Caso II, tomando siempre como límite el umbral original de 90 abonados con adopción inicial de 5%. Sin embargo, para cálculos ejemplificativos en Argentina usamos una adopción 20%, al estimar su elasticidad acceso como más parecida a la de zonas “duras” de Canadá como la Península Acadiana, alcanzando 26,4:1 en el primer año (Wright, 2007).

### 3. Áreas primarias de despliegue en la Provincia del Chaco

La estimación de áreas de primarias de despliegue necesita computar valores y tendencias demográficas con desagregación de micronivel. La cobertura de banda ancha requiere además, estimaciones de viviendas rurales dispersas, habitantes por vivienda y densidades, incluyendo el factor de ocupación. Los radios censales serían la unidad correcta, pero ese nivel de detalle supone datos a menudo difíciles de hallar u obsoletos cuando se obtienen. Por ello, nosotros utilizamos una combinación de fuentes censales (decenales) y electorales (bienales). La Tabla 1 enlista las densidades de viviendas rurales dispersas y totales ocupadas (incluyendo centros ó aglomerados), para los 26 departamentos de la provincia del Chaco. También, el número de centros con población aglomerada, adecuados para implantación de bases WRAN. Se notan las diferencias en densidad mínima y habitantes por vivienda respecto al modelo de Wright. Naturalmente, las prioridades de despliegue a nivel de departamento deberán intersectarse con tendencias intercensales y datos bienales de fuentes alternativas. La meta primaria de cobertura ideal en la provincia serían unos 9.500 abonados (20% de las viviendas rurales), pero sólo 3 departamentos presentan densidades promedio

de más de 1 vivienda por Km<sup>2</sup>.

Las tablas 2-3 detallan posibles áreas de despliegue de celdas WRAN factibles para los Casos I y II, estimadas para adopción inicial de 20%. Ese valor refleja la inclusión de abonados rurales supuestos de baja elasticidad-acceso (viviendas con comercios en pueblos rurales y cascos de explotaciones agropecuarias de pequeños productores).

Tabla 1

Departamento	Viviendas Rurales Dispersas	Viviendas Rurales (Total)	Habitantes por Vivienda	Densidad V.R.Total Ocupadas	Centros Rurales
Quitilipi	2188	2441	4,11	1,42	1
Bermejo	1697	3693	3,66	1,23	5
Comandante Fernández	2083	2083	3,86	1,18	
Libertad	953	1213	3,91	0,96	3
O'Higgins	1666	1666	4,02	0,87	
Sargento Cabral	1050	1654	3,88	0,82	2
Chacabuco	1124	1124	3,80	0,72	
Maipú	2234	2234	4,13	0,69	
Independencia	1365	1444	4,3	0,64	1
25 de Mayo	1541	1811	4,31	0,68	2
9 de Julio	1550	1550	3,83	0,64	
General San Martín	4000	5273	3,89	0,59	5
General Donovan	735	986	3,76	0,59	1
San Lorenzo	965	1350	3,90	0,53	1
Santa María de Oro	955	1315	3,78	0,51	2
12 de Octubre	1142	1490	3,83	0,49	3
2 de Abril	723	883	3,67	0,46	1
1° de Mayo	744	955	3,66	0,41	1
General Belgrano	617	617	4,08	0,42	
San Fernando	1066	1757	3,77	0,44	2
Mayor Fontana	1665	1791	3,80	0,42	1
Presidencia de la Plaza	868	868	3,91	0,34	
Tapenagá	468	1476	3,67	0,18	5
General Güemes	4663	6225	4,14	0,21	6
Almirante Brown	1706	2007	4,24	0,09	1
Totales	37768	47906		0,41	43

La estimación, aún muy gruesa se obtuvo desde registros de votantes en escuelas rurales de elecciones (2013) y del Mapa Educativo Nacional. Las localidades de la Tabla 2 son pequeños municipios y las de la Tabla 3 son escuelas rurales que podrían albergar a priori, bases WRAN en topologías I y II respectivamente, ya que ambos tipos de área primaria de despliegue superan el umbral de factibilidad inicial de 90 abonados por celda. Ese umbral podría ser menor si por ejemplo, la infraestructura de la radiobase se abarata aprovechando sitios con alojamiento, energía y estructuras de antena existentes. Pero también podría aumentar, si el nivel de ingresos rural en el área primaria de despliegue determinara la fijación obligada de tarifas más bajas. Si el capital requerido para WISPs de tecnología tradicional es ya demasiado alto, por ejemplo por falta de vínculo con la red troncal (“backhaul”), la alternativa WRAN será afectada por la misma restricción. Este cálculo estimativo

arroja metas de 1.745 abonados para cobertura primaria en celdas WRAN tipo I y 882 en las de tipo II.

Tabla 2

Departamento	Área Rural Caso I	Estimación Viviendas	Viviendas Rural Agl.	20 % TA (Aplom)	20% TA (Total)
25 de Mayo	Colonia Aborigen	631	258	52	126
Bermejo	Isla del Cerrito	623	572	114	125
Sta Maria De Oro	Chorotis	581	274	55	116
Gral Güemes	El Espinillo	989	357	71	198
	Fuerte Esperanza	790	507	101	158
	Zaparinqui	562	182	36	112
Gral San Martín	Laguna Limpia	614	343	69	123
	Pampa Almiron	753	401	80	151
Quitilipi	Villa El Palmar	893	253	51	179
San Lorenzo	Samuhu	577	385	77	115
Sargento Cabral	Capitán Solari	750	553	111	150
Tapenagá	Cote Lai	507	373	75	101
	Charadai	453	506	101	91

Tabla 3

Departamento	Área Rural Caso II	Latitud	Longitud	Est. Viv.	20 % TA
25 de Mayo	Colonia Aborigen	-26.956	-60.204	529	106
25 de Mayo	Colonia Tres Palmas	-26.738	-59.966	736	147
C. Fernandez	Colonia Bajo Hondo	-26.879	-60.556	451	90
C. Fernandez	Pampa Aguado	-26.738	-60.407	556	111
Gral. San Martín	Campo Bermejo	-26.455	-59.284	646	129
Quitilipi	Colonia El Paraisal	-26.499	-60.067	477	95
Quitilipi	Colonia General Paz	-26.706	-60.144	568	114
Quitilipi	El Zamjón	-26.540	-60.084	449	90

#### 4. Conclusiones

Desde el punto de vista de la expansión de la infraestructura de banda ancha, las áreas sin conectividad son una oportunidad comercial y al mismo tiempo una señal de alerta para la factibilidad. Un plan de conectividad sin zonas oscuras, pero consciente en costos requiere una mezcla de tecnologías desplegadas conjuntamente (Wi-Fi ó sistemas de corto alcance para los aglomerados y WRAN para el área rural exterior. Tal es el camino seguido en los ensayos pioneros de productos comerciales 802.22 en Japón y EE.UU. en 2013-2014. Cuando la tasa de adopción o los potenciales clientes son escasos -aun incluyendo el pueblo rural y todas sus áreas circundantes-, el problema de factibilidad permanecerá irresuelto, sin importar la tecnología adoptada. Si la falta de operadores en el pueblo obedece sólo a limitaciones de cobertura, ése es el nicho correcto para el despliegue de celdas WRAN. La evaluación estimativa bajo nuevas premisas en zonas piloto ha permitido detectar zonas y condiciones para el despliegue de celdas WRAN de espacio blanco, calcular metas de cobertura primaria y prioridades de despliegue. También se ha evaluado el uso de fuentes alternativas de información demográfica para refinar la selección de las mismas.

#### Referencias

1. Calabrese, M. & Rose, G. "The economics of auctioning DTV white space spectrum" Wireless Future Program, Working Paper 22. New America Foundation, USA (2008)
2. Chouinard, G. "Recommended Practice for Installation of IEEE 802.22 Wireless RAN". Doc. IEEE 802.22-04/0002r13 (2005)
3. Da Silva E. & Alencar, M "A study of IEEE 802.22 as an alternative to the Brazilian Digital Television Return Channel" – Proc. 9th. International Information and Telecommunications Technologies Symposium – Rio de Janeiro, Brasil (2010)
4. Fitch, M.; Nekovee, M.; Kawade, S.; Briggs, K. & MacKenzie, R. "Wireless service provision in TV white space with cognitive radio technology: a telecom operator's perspective and experience" -IEEE Communications Magazine Vol. 49, Issue 3 ((2011).
5. Goussal, D.M. "Planeamiento de sistemas de banda ancha rural inalámbrica basados en redes de coexistencia y radios cognitivas en ambiente IEEE 802.22" – XXII Conferencia Latinoamericana de Energía y Telecomunicaciones Rurales (CLER). Buenos Aires, (2010)
6. Goussal, D.M. "Feasibility and strategic planning aspects of the deployment of rural wireless broadband networks based in white space spectrum technologies and cognitive radios". Proc. ITS Conference "Telecommunications and Investment: the Road Ahead" in honor of Professor Emeritus Lester D. Taylor. International Telecommunications Society (ITS). Jackson Hole, Wyoming (USA) (2011).
7. IEEE "Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems -Wireless Regional Area Networks (WRAN)—Specific requirements Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands" –IEEE 802.22-2011TM IEEE Computer Society, N York USA (2011)
7. Mitola, J. "Software Radios: Wireless Architecture for the 21st Century" John Wiley & Sons, New York, NY, USA. (1999)
8. Nekovee, M. "A Survey of Cognitive Radio

Access to TV White Spaces” International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, Vol. 1 (2010).

9. Omar, M; Hassan,S. & Shabli,A. “Feasibility Study of Using IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN) in Malaysia”. Proc. Second International Conference on Network Applications, Protocols and Services. IEEE Computer Society, pp- 198-202 (2010)

10. Simancas, E. “Análisis del estándar IEEE 802.22 (WRAN)) y su posible implementación en Ecuador”. Escuela Politécnica Nacional, Quito. (2006).

11. Wright, D. “Dynamic spectrum access in the IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network” Proc. II International Conference on Access Networks (Access-Nets) Ottawa, Canada (2007)

