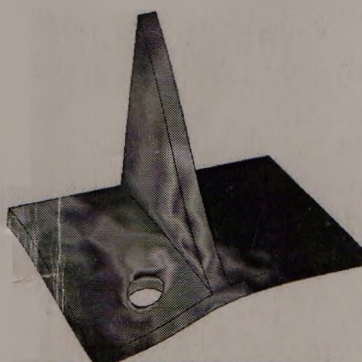


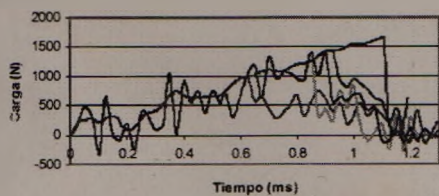
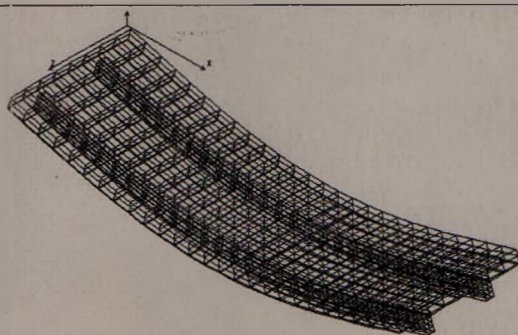


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

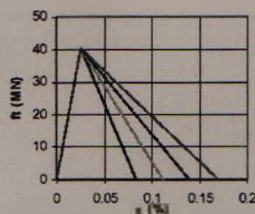


Contour Plot of NODAL V. MISES
(Deformation (MM)) DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

2^{DA} JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



— Gf = 2160 N/m — Gf = 3240 N/m — Gf = 5400 N/m
— Gf = 4250 N/m (DF) — Ens. Laboratorio



— Gf = 2160 — Gf = 3240
— Gf = 5400 — Gf = 4250

Diseño de expansión de redes rurales de banda ancha inalámbrica en ambientes de coexistencia IEEE 802.11x/ 802.16x y atribuciones de espectro de 0.7 a 5.8 Ghz

Darío M. Goussal

Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR-UNNE)

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste

Av. Las Heras, 727 C.P. 3500 Resistencia, Argentina

dgoussal@ing.unne.edu.ar

Antecedentes

Los estudios de demanda de ancho de banda realizados en 2002 por el GTR durante el proyecto ROCHA (Ruta Optica Chaqueña) habían estimado que cualquier estrategia de conectividad para sitios de acceso público a la información en localidades pequeñas y rurales debería adoptar un umbral de 512 Kbps. Ese era el ancho de banda disponible desde comienzos de la década en diversas ciudades mediante tecnologías de cablemodem y bucle mejorado de abonado (xDSL). A fin de examinar la viabilidad técnica de la interconexión en banda ancha de bibliotecas rurales, en 2003 se corrieron simulaciones en computadora de enlaces punto a punto de para bibliotecas del Chaco en la norma IEEE 802.11g (2003) con límite de 54 Mbbs usando modulación ortogonal de portadoras múltiples (OFDM) (Goussal & Udrizar Lezcano 2002, 2003).

Alternativamente, el protocolo IEEE 802.16-2004 -específicamente concebido para banda ancha desde 0.7 hasta 66 Ghz- en su versión denominada Worldwide Interoperability Microwave Access (WiMAX) acordada por los principales proveedores, compatibiliza con el protocolo europeo HiperMAN a través de una capa física de 256 portadoras y Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (256 OFDM-PHY). Sin embargo, WiMAX contempla aplicaciones de distribución de última milla móviles y fijas punto-multipunto (“last mile-PMP”) y no, topologías arborescentes de acceso público rural de área amplia (RWAN). Los resultados de la simulación en 2.4 Ghz de conexiones punto a punto “single-carrier” para bibliotecas rurales del Chaco realizada en el GTR-UNNE en 2003 mostraron grandes variaciones de desempeño en la disponibilidad de enlaces IEEE 802.11g según distancias de trayecto, tipo de clima y rugosidad del terreno, a semejanza de las previsiones del modelo de Erceg (1999). No se analizaron entonces otras normas, bandas de RF o diseños posibles incluyendo técnicas de coexistencia, diversidad- arreglos de antenas y configuraciones de enlaces MIMO (“Multiple Input - Multiple Output”).

En esta comunicación se examinan comparativamente, la aplicación de bandas de WiFi y WiMAX para expansión de conectividad Internet en áreas no servidas de la provincia del Chaco utilizando segmentos de RF con o sin licencia en 5.8, 3.5, 2.4 y 0.9 Ghz, junto a la eventual atribución de extensiones del espectro de la banda baja de 700 Mhz,

postulada en la tesis de Wanichkorn (2002) y actualmente en proceso de subasta pública en EE.UU. Se exponen criterios de proyecto de una red ejemplificativa, basada en el panorama actual de conectividad en banda ancha en localidades de la provincia del Chaco, y en la teoría de expansión dinámica o traslación periférica continua (Goussal, 1989).

Materiales y Métodos

Se realizaron preevaluaciones de tres aspectos de ingeniería de proyecto de la hipotética red en ambiente de expansión dinámica:

- 1) Distribución territorial de accesos de banda ancha y prioridades de expansión factibles.
- 2) Topologías de despliegue de la red hipotética en ambiente de expansión dinámica.
- 3) Criterios y límites de utilización de las bandas y tecnologías bajo análisis.

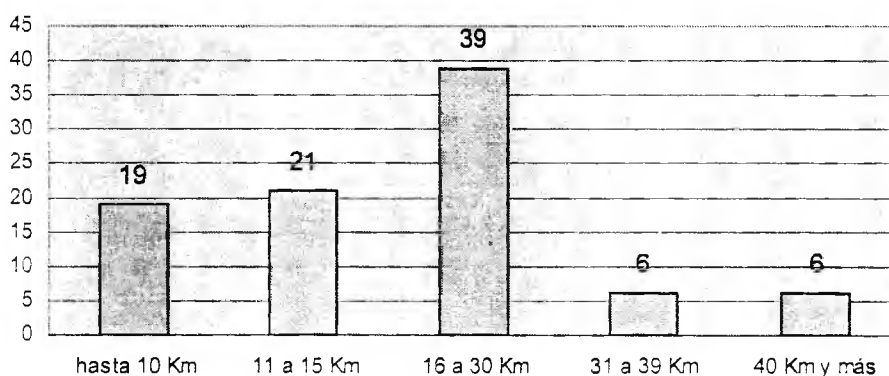
Para 1) se emplearon datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2001 y la Base de Datos del Acceso Público a la Información implementada por el GTR. La expansión de la red se evaluó usando algoritmos básicos de nodo más cercano y árbol de mínimo despliegue –NN (Nearest Neighbor) – MST (Minimum Spanning Tree). Es obvio que un tratamiento más ajustado requeriría técnicas de mayor demanda computacional como el Arbol de Steiner restringido y la triangulación de Delaunay (Rosenwein & Wong, 1995; Ghanwani, 1998; Cai, Sochats & Williams, 1999).

En la simulación se usó cartografía satelital y topográfica de levantamientos expeditivos del IGM en escala 1:100.000 y 1:250.000, software estándar de georreferenciación (GIS) con extensiones de análisis de redes (Arcview Network Analyst), y una planilla de cálculo de radioenlaces de microondas ad-hoc elaborada por el autor en base a los modelos de canal de RF adecuados a las distintas bandas y entornos. Para el canal de RF se tomaron como base los mismos del estudio de 2003: las recomendaciones IEEE 802.16.3c e IEEE 802.16a, modelos estadísticos de Erceg (1999), Goerner-Ahrens y Rockmann (2002) para las bandas de 2.4, 3.5 y 5.8 Ghz, y Okumura-Hata-Davidson con sus extensiones para cálculos en la banda ISM de 902-928 y la nueva de 698 a 806 Mhz. En este artículo sólo se enfocan consideraciones de diseño macro en base a ejemplos, y no implica factibilidad u optimización de conjunto, que sólo sería posible derivar del cómputo iterativo de todos los enlaces. El criterio de despejamiento de Fresnel adoptado fue históricamente usado en rutas de microondas de alta capacidad de Brasil (Silva & Barradas, 1983).

Discusión de Resultados

El estado de conectividad en las 92 localidades del Censo 2001 en la provincia del Chaco indica que sólo 12 cuentan con acceso discado a tarifa reducida (básicamente Resistencia, Roque Sáenz Peña y poblaciones aledañas). Otras 18 pueden hacerlo a la tarifa normal C1 incluyendo las aledañas o que cuentan con ISP propio, y las del servicio promocional de

Red Hipotética de Arbol de Despliegue Mínimo según Distancia de Trayectos (Total = 92 Localidades)



clave 0611 con red telefónica que disten entre 30-55 Km. de un nodo de servicio 0610. La amplia mayoría (62 localidades, el 67%) no puede acceder a la red a costo razonable, cuente o no con red telefónica la localidad. La disponibilidad de conexiones de banda ancha en el sentido territorial son ínfimas, y la exclusión que ello origina tiene efectos de largo plazo. Al impedir la instalación de puntos de presencia de proveedores (ISP) y sitios de prestación colectiva como infocentros comunitarios y bibliotecas se profundiza la brecha digital en forma regenerativa. La infraestructura de proyectos básicos necesarios como el de ROCHA (Ruta Optica Chaqueña) formulado una década atrás por el GTR y objeto de varios estudios se halla aún pendiente, requiriéndose en tanto alternativas de expansión de aplicación contingente (Goussal & Udrizar Lezcano, 1998-2000).

En EE.UU., la iniciativa "Rural America Digital Accessibility Act" (H.R. 138-2003) dispone proveer subsidios, préstamos y crédito fiscal para promocionar el despliegue de redes rurales de banda ancha en zonas no servidas, y la "Rural Renaissance Act" (S.1796) establece una corporación rural dirigida a financiar proyectos de revitalización rurales, incluyendo la expansión interior de redes de banda ancha. Se destaca la

liberación de un gran segmento de la banda de TV de UHF en el año 2002 (los canales 52 al 69 -698 a 806 MHz), en el que ya se han vendido licencias para banda ancha rural inalámbrica. La red hipotética propuesta en aproximación semi-heurística de "Nearest Neighbor" (NN) y "Minimum Spanning Tree"(MST) se evaluó en 3 versiones: la primera comprendiendo las 92 localidades del Censo Nacional 2001; la segunda, solo las 62 que en 2004 carecen por completo de conectividad -ya sea por falta acceso al prefijo 0610 de tarifa reducida, o de un punto de presencia cercano a tarifa local o de prefijo 0611 de proveedores (ISP); y la tercera, abarcando sólo localidades menores a 2000 habitantes, por considerárselas de menor aptitud relativa de viabilidad (Red de peor caso). En la Fig. 1 se puede ver la distribución de enlaces de la red total de acuerdo a rangos de distancia, resultando allí

Tabla 1 - Extremos de radioenlace	Quitilipi ↔ Colonia Aborigen	Colonia Baranda ↔ La Amalia
Longitud total del trayecto:	10.50 Km.	17.00 Km
Frecuencia de transmisión más alta:	2.467000 GHz	2.467000 GHz
Potencia de salida del Transmisor:	24.000 dBm (251.189 mW.)	
Línea coaxial prevista:	LMR-1200	LMR-1200
Longitud de la línea de Tx:	1.50 m.	32.00 m
Eficiencia de la línea Tx:	97.48 % (acceptable)	58.04 %
Pérdida total en inyector de CC:	0.12 dB a través de 2 conectores	0.12 dB
Otras pérdidas en la línea de Tx:	0.50 dB	0.50 dB
Total de pérdidas en la línea de Tx:	0.73 dB	2.99 dB
Ganancia de cresta de la antena Tx:	24.00 dBi (21.85 dBd)	24.00 dBi (21.85 dBd)
Altura de mástil de antena Tx :	30.00 m.	30.00 m
Cota SNM en el sitio Tx:	83.00 m. SNM	52.00 m.
Altura total de antena Tx:	113.00 m. SNM	82.00 m.
Distancia Tx a radiohorizonte:	22.80 Km.	23.74 Km
PIRE de cresta total:	47.266 dBm (53284.390 mW.)	45.014 dBm (15.014 dBW)
Línea coaxial prevista Rx:	LMR-400	LMR-1200
Longitud de la línea de Rx:	1.50 m.	32.00 m.
Características de Pérdida de la línea de Tx:	22.03 dB/100-m	7.38 dB/100-m.
Pérdida calculada de la línea de Rx	0.33 dB (0.22 dB/m.)	2.36 dB
Eficiencia de la línea Rx:	92.67 % (acceptable)	58.04 %
Pérdida total en inyector de CC:	0.12 dB a través de 2 conectores	0.12 dB
Otras pérdidas en la línea de Rx:	0.50 dB	0.80 dB
Total de pérdidas en la línea de Rx:	0.95 dB	3.29 dB
Ganancia de cresta de la antena Tx:	24.00 dBi (21.85 dBd)	24.00 dBi (21.85 dBd)
Altura de mástil de antena Rx :	30.00 m.	30.00 m.
Cota SNM en el sitio Rx:	82.00 m. SNM	49.80 m.
Altura total de antena Tx:	112.00 m. SNM	79.80 m.

Distancia Tx a Radiohorizonte:	22.80 Km.	23.74 Km
Atenuación de espacio libre:	120.71 dB	124.90 dB
Atenuación por lluvia de peor caso:	0.057 dB	0.077 dB
Pérdida total de oxígeno:	0.063 dB	0.102 dB
Atenuación total de espacio libre:	120.83 dB	125.08 dB
Atenuación estimada total del trayecto:	148.21 dB	155.46 dB
Nivel de portadora Rx sin desvanecimiento:	-51.02 dBm (628.76 μ V)	-89.91 dBm (7.14 μ V)
Umbral de recepción del equipo previsto:	-94.00 dBm (4.46 μ V)	-94.00 dBm (4.46 μ V)
Margen de desvanecimiento de ruido térmico:	42.98 dB	34.65 dB
Margen de desvanecimiento ideal calculado:	25.19 dB	31.47 dB
Margen de desvanecimiento compuesto (CFM)	42.98 dB	34.65 dB (max)
Altura mínima absoluta de antenas:	12.33 m.	17.88 m
Factor de radio efectivo terrestre estimado (K):	1.36	1.47
Factor de Clima (I)	48.32	48.32
Distancia máx. absoluta trayecto espacio libre:	45.60 Km.	47.48 Km.
Rugosidad estimada del terreno de trayecto:	1.00 m.	1.00 m.
Temperatura anual promedio estimada:	22.00 ° C	22° C
Presión atmosférica de nivel de mar corregida:	1008.99 milibar	1011.58 milibar
Disponibilidad anual estimada-trayectos múltiples y desvanecimiento de Barnett & Vigants:	99.99958411 % (max.)	99.98797105 % (max)
	46.45 segundos	22 39 minutos

(1) Corresponde a clima húmedo no costero. 22°C promedio, humedad 70%, terreno plano rural.

una evidente preeminencia de los rangos de entre 10 y 30 Km. sin tener en cuenta aquí otros 10-15 saltos redundantes o necesarios para cerrar anillos y disminuir la probabilidad de cortes en la conexión. pues no los incluye el algoritmo usado de Arbol de Despliegue Mínimo (MST) (Markland & Sweighart, 1987; Cai, Sochats & Williams, 1999).

En la simulación para la banda de 2.4 Ghz, el comportamiento según distancias, tipos de clima y rugosidad del terreno adoptando el criterio de desvanecimiento de Barnett y Vigants (12) revela profundas diferencias. La Tabla 1 compara, usando el mismo factor de clima los links Quitilipi-Colonia Aborigen de 10,5 Km. que por la eficiencia en líneas de transmisión y atenuación total de trayecto podría considerarse “favorable” y Colonia Baranda-La Amalia (17 Km) de mayores pérdidas y menor margen de desvanecimiento (“desfavorable”). El primero ofrecería una indisponibilidad anual de 44 seg. en modo “single-carrier”, el último casi 23 minutos (para ser viable, requeriría mandatoriamente antenas en diversidad de espacio y modulación OFDM). Los enlaces más largos no parecen ser económicamente viables pues crecen rápidamente las reflexiones por caminos múltiples y el radio del primer elipsoide de Fresnel. En la Fig. 2 se pueden observar los elipsoides 0.6 y 1 para el trayecto Resistencia-Colonia Baranda (34 Km.) que ameritaría antenas en diversidad de espacio y torres de al menos 60

metros. Por este motivo, se han explorado bandas de frecuencia más alta (3.55-5.8 Ghz) y más baja: ISM en 902-928 Mhz incluyendo la eventual subasta para uso rural de 698-806 Mhz como se hiciera en EEUU. Siendo que la infraestructura de antenas afecta directamente los costos de la red modelo, tanto en inversión como mantenimiento se debe comparar su dimensionamiento en todas las opciones de espectro de RF y considerar repetidoras en nodos rurales intermedios. El cálculo de alturas mínimas de estructuras de antena se simuló para 91 enlaces y distancias hasta 39 Km. en extremos y centros de las bandas candidatas. El criterio de despejamiento (liberación del primer elipsoide para una relación de radio ficticio terrestre $K=1$ y del elipsoide 0.6 para $K=0.7$) corresponde al utilizado en rutas de microondas de alta capacidad en Brasil. La Tabla 2 expone un resumen simplificado de los resultados, tomando alturas de mástiles existentes en el Chaco desde 24 hasta 102 m.

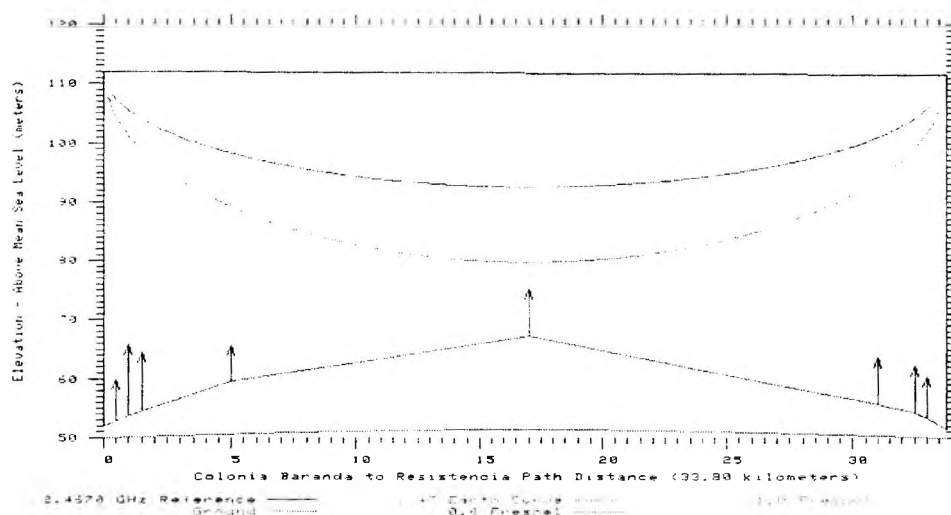


Fig 2—Elipsoides de Fresnel del trayecto Resistencia-Colonia Baranda con torres de 60 m.

Las tres situaciones típicas se representan allí con sombreados diferentes: 1) Trayectos hasta 15 Km. y alturas hasta 30 metros, susceptibles de instalación y mantenimiento a costo razonable en espacios reducidos. Son abundantes en redes públicas y privadas en el interior chaqueño y conllevan ventajas de sus menores radios del primer elipsoide de Fresnel en 2.4, 3.5 y 5.8 Ghz. 2) Para vínculos de hasta 30 Km, el uso de estructuras de soporte existentes o nuevas entre 42 y 60 m. ya no ofrece tantas ventajas pero aún es susceptible de utilización en la expansión de la red modelo, sobre todo para aprovechar instalaciones locales bien conservadas y evitar pasos de repetición en lugares inadecuados o carentes de energía; un ejemplo es el vínculo de 34 Km en 2.4 Ghz resuelto con torres de 60 m. (Fig. 2). Por fin, en la situación 3) ya no pueden proyectarse

generalizadamente vínculos despejados viables con alturas razonables en ninguna banda. Pero nada impide diseñar vínculos obstruidos (NLOS) con diversidad de espacio, frecuencia y arreglos de antenas (Ej. MIMO con modulación OFDM OFDMA de hasta 2048 portadoras).

Ahora bien, existen dos formas (estática y dinámica) de encarar la expansión de una red. En la primera, a cada elemento de la expansión se le asigna una única ubicación y función estáticos hasta el fin de su vida útil u horizonte tecnológico. En la segunda, los elementos se destinan a funciones y ubicaciones temporarias en cada etapa de la expansión y luego se reusan en nuevos roles en otras partes de la red. En una estrategia de coexistencia, un vínculo WiMAX puede sustituir otro WiFi entre 2 nodos de una ruta de alto tráfico, una vez agotada la capacidad máxima de transporte troncal. El enlace 802.11g se traslada para iniciar o reforzar una posición más periférica en otra ruta de menor tráfico, y con ello se logra un incremento neto de la cobertura de la red a costo reducido por extensión del

Tabla 2 - Rangos de Distancia de Trayectos Tipo-Provincia del Chaco					
Altura Mínima de Estructuras de Antenas para Despejamiento de Fresnel					
Bandas RF		Distancia 10 Km	15 Km	30 Km	39 Km
Extensión UHF 700 Mhz -Ex TV- (EE.UU.)	698	42	60	84	102
	752	42	60	84	102
	806	42	48	84	102
900 Mhz	902	42	48	84	102
	915	42	48	84	102
	928	42	48	84	102
2.4 Ghz	2400	30	42	60	72
	2467	30	42	60	72
	2483.5	30	42	60	72
3.5 Ghz	3550	24	30	60	72
5.8 Ghz	5800	24	24	48	72

período de amortización de la infraestructura. Por razones de espacio los resultados de tal análisis y su sustento teórico no se incluyen en este artículo. Pero de acuerdo a la teoría de expansión dinámica, es posible optimizar una matriz generalizada de traslados en los ejes espacial y temporal en la forma de "efecto dominó" (Traslación Periférica Continua). La evaluación de expansión dinámica toma en cuenta la diferencia entre los

tiempos de amortización física y tecnológica de los equipos, la concordancia incremental de demanda en zonas diferentes de la red, y variables específicas del área rural como especialización y costo de la mano de obra e insumos locales (Goussal, 1989).

Conclusiones

El diseño de redes rurales de banda ancha inalámbrica en ambientes de coexistencia IEEE 802.11x / 802.16x es condicionalmente viable bajo una estrategia de expansión dinámica y uso de bandas entre 0.7 y 5.8 Ghz. Del patrón de distribución de localidades de la provincia del Chaco puede tener su aplicación principal en las 62 localidades carentes de acceso, en vista del tiempo e inversión que insumirían otras opciones de conectividad. La eventual ventaja de uso de la franja de 700-900 Mhz para accesos de banda ancha está limitada por capacidad de canales y restricciones del despejamiento de Fresnel. Pero allí es menor la desviación estándar del margen de desvanecimiento compuesto (CFM), y se pueden aprovechar estructuras de antena existentes para vínculos de baja capacidad de más de 30 Km. En estos casos serán obligados los arreglos de diversidad de frecuencia, espacio y la modulación OFDM /OFDMA. Las alternativas descritas no sustituyen ni postergan la necesidad de soluciones definitivas, como lo es una ruta óptica troncal (6,7).

Referencias

1. Cai, G.; Sochats, K. & Williams, J. *Mapping and Analysis of Pennsylvania's Telecommunications Infrastructure*. Univ. of Pittsburgh, USA 1999.
 2. Erceg, V.; Greenstein L.; Tjandra, S.; Parkoff, S.; Gupta, B.; Kulic, B.; Julius, A.; Bianchi, R. *An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 17, Nr. 7, 7/1999.
 3. Ghanwani, A. *Neural and delay based heuristics for the Steiner problem in networks*. European Journal of Operational Research Vol. 108 Nr. 2, 1998.
 4. Goerner, S.; Ahrens, A. y Rockmann, R. *Measurement and modelling of a radio channel for wireless local loop applications*. 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, Stockholm 9/ 2002.
 5. Goussal, D.M. & Udrizar Lezcano, M.S. *Simulación de enlaces de banda ancha para interconexión de bibliotecas rurales bajo la norma IEEE 802.11g en 2.4 Ghz*. Actas, Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas SECYT- UNNE 2002
 6. Goussal, D & Udrizar Lezcano, S *Broadband Networks in Rural Areas: Engineering Options and Policy Implications of the Bandwidth Flooding Criterion*. Proc. 22nd Annual Pacific Telecommunications Conference (PTC2000). Honolulu, USA 1/2000
- Goussal, D.M. & Udrizar Lezcano, S. *Previsión de demanda de servicios de banda ancha e inyección de tráfico intermedio para localizaciones del proyecto ROCHA*

hasta el año 2005 Actas. R. de Comunicaciones Científicas y Técnicas UNNE 2002.

8. Goussal, D.M. *WAN design options for rural schools and paramedical service*. Proc. Global Networking '97 Conference. International Telecommunications Society (ITS) - International Council for Computer Communications. Calgary, Canada 6/1997
9. Goussal, D.M. *Expansión Estratégica de Redes Rurales en Ambiente de Transición Analógico-Digital*. Tecnología Electrónica Vol. 680-681. Buenos Aires, 1989.
10. IEEE Std 802.11b-1999, *Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band*, 9/1999.
11. IEEE802.16.3c Broadband Wireless Access Working Group *Channel models for fixed wireless applications* 2/2001
12. IEEE 802.16.2a Broadband Wireless Access Group *Propagation in the frequency range 2-11 GHz. Some Notes on Sub-11GHz Transmission Link Considerations*, 2001.
13. Markland, R. & Sweighart, J. *Quantitative Methods: Applications to Managerial Decision Making*. J. Wiley, USA 1987.
14. Rosenwein, M. & Wong, R. *A constrained Steiner tree problem*. European Journal of Operational Research Vol. 81 Nr. 2, 1995.
15. Silva, G.V. & Barradas, O. *Sistemas Radiovisibilidade Embratel-LTC*. Brasil 1983.
16. Wanichkorn, K. *The role of fixed wireless access networks in the deployment of broadband services and competition in local telecommunications markets*. Ph.D Dissertation. Department of Engineering and Public Policy. Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA (USA), 2002