

# Herramienta gráfica de modelado de redes inalámbricas basada en modelos de propagación de señales en interiores

Sandra Paulina López

*splopez@icesi.edu.co*

Juan David Osorio Betancur

*juandoso@correo.icesi.edu.co*

Andrés Navarro Cadavid

*anavarro@icesi.edu.co*

Fecha de recepción: 27-05-2004

Fecha de aceptación: 04-10-2004

## ABSTRACT

This paper describes the implementation of an indoor propagation prediction model, based in the semiempirical model of K. W. Cheung, J. H. M. Sau, y R. D. Murch [1], which includes the Path Loss, the incidental angle over walls and the associated attenuation, and the Fresnel zones.

The information about the specific environment are taken from a DXF file, that must follow an established format. The attenuation factor of walls and the AP location are obtained from the user.

Also, a shadowing algorithm that optimize the simulation time is developed.

Finally, the contrast of the simulation results against the data of a site survey is showed.

## KEY WORDS

Propagation Models, Wireless LAN, Wireless Systems, DXF, Attenuation, Shadowing Test.

## RESUMEN

El presente artículo describe el proceso de implementación de un modelo de predicción de la propagación de señales en interiores, basado en el modelo semiempírico de K. W. Cheung, J. H. M. Sau, y R. D. Murch, [1] donde se tienen en cuenta la atenuación debida a la distancia, el ángulo de incidencia sobre las paredes, la

atenuación asociada a estas mismas y las zonas de Fresnel.

Los datos del entorno a simular son tomados de un archivo DXF que debe seguir un formato establecido. Se obtienen del usuario la atenuación asociada a cada tipo de pared y la ubicación del punto de acceso.

También se desarrolla un algoritmo de sombreado que optimiza el tiempo de simulación debido a su sencillez.

Finalmente se muestra la comparación de los resultados de la simulación y los datos obtenidos en la prueba de campo.

#### **PALABRAS CLAVES**

Modelos de propagación, redes inalámbricas de área local, sistemas inalámbricos, DXF, atenuación, pruebas de sombreado.

**Clasificación Colciencias: A**

## INTRODUCCIÓN

El desempeño de las redes inalámbricas de área local (WLANs), o cualquier otro sistema inalámbrico, se ve fuertemente influenciado por las características de sus puntos de acceso (antenas transmisoras), como lo son su cantidad, ubicación y potencia de transmisión. Por esta razón es muy importante realizar una planeación cuidadosa de estas características para optimizar los recursos que se tienen y brindar una mejor calidad de servicio, ya que estos dispositivos usualmente representan la mayor inversión en el montaje de una WLAN, no sólo por su costo sino también por la instalación del cableado de energía y de datos que estos requieren.

Con esta motivación se decidió realizar una herramienta gráfica basada en un modelo de propagación ya existente, que se adapte a las condiciones específicas para ambientes en interiores.

La herramienta aquí desarrollada no pretende modelar la propagación en exteriores. Además, el modelado se realizará para dos dimensiones, es decir, a nivel de un piso.

## MODELO BASE

Para esta herramienta se escogió el modelo propuesto en [1] al cual se le realizaron algunas simplificaciones y adaptaciones propias del entorno local.

Este modelo incorpora gran parte de los fenómenos de propagación que son sugeridos por teorías electromagnéticas como la UTD, pero retiene la simplicidad de la aproximación empírica. Una ventaja potencial es que los factores empíricos requeridos para

el modelo pueden relacionarse con derivaciones teóricas de manera que ajustar u optimizar el modelo a los datos medidos puede no ser necesariamente requerido. Los tiempos de computación se mantienen al mínimo, de modo que las predicciones puedan realizarse interactivamente en un PC sin una reducción significativa en la precisión de la predicción. Este modelo puede verse como si estuviera en el medio entre las técnicas empíricas y de trazado de rayos.

## Conceptos básicos

Se define la pérdida debido a la trayectoria como

$$PL(d) \text{ [dB]} = 10 \log P_r(d_0) - 10 \log P_r(d) \quad (1)$$

Donde  $P_r(d)$  es la potencia recibida a una distancia  $d$  del transmisor. La distancia de referencia  $d_0$ , que aquí es tomada como 1 metro, es utilizada para normalizar la pérdida de trayectoria con la que ocurre a la distancia  $d_0$  del transmisor de manera que sólo se incluyan efectos de propagación.

Las aproximaciones empíricas o estadísticas para predecir la pérdida por trayectoria toman la forma

$$PL(d) \text{ [dB]} = m 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^n + \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q Q FAF(q) \quad (2)$$

donde  $P$  y  $Q$  son el número de paredes y pisos respectivamente entre el transmisor y el receptor. Los parámetros empíricos  $n$ ,  $WAF(p)$  y  $FAF(q)$  son respectivamente el exponente de pérdida por trayectoria, el factor de atenuación de pared y el factor de atenuación de piso. El valor de estos

parámetros se determina aproximando el modelo a los datos medidos en el edificio de interés. La precisión de la predicción puede ser pobre en ciertas áreas del edificio, especialmente a grandes distancias del transmisor.

### El modelo empírico de propagación utilizado

Para mejorar la precisión de este modelo manteniendo su simplicidad, se incorporan efectos adicionales de propagación que han sido observados y son sugeridos por la UTD.

#### A. Dependencia de la distancia del exponente de pérdida por trayectoria

Se ha observado que la pérdida como función de la distancia tiene dos regiones distintas. En la primera, la pérdida es similar a la que ocurre en el espacio libre, debido a que a distancias cortas de la antena las obstrucciones como paredes y pisos no interactúan significativamente con las ondas que se propagan. Sin embargo, a mayores distancias, en la siguiente región, la pérdida se incrementa significativamente a medida que las ondas electromagnéticas se ven más obstruidas por los techos y paredes de los cuartos en el edificio. La distancia a la cual se da esta transición en la pérdida se refiere aquí como el *breakpoint* (terminología que se usa en el estudio de microceldas).

El fenómeno del *breakpoint* se incorpora modificando la ecuación:

$$\begin{aligned}
 & PL_{bp}(d) \text{ [dB]} \\
 &= 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^{n_1} U(d_{bp} - d) \\
 &+ 10 \left[ \log \left( \frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_1} + \log \left( \frac{d}{d_{bp}} \right)^{n_2} \right] U(d - d_{bp}) \\
 &+ \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q FAF(q)
 \end{aligned} \tag{3}$$

donde  $d_{bp}$  es la distancia del transmisor al *breakpoint*,  $n_1$  y  $n_2$  son los exponentes de pérdida por trayectoria en cada lado del *breakpoint* y  $U(*)$  es la función escalón unitario.

Los parámetros adicionales  $d_{bp}$ ,  $n_1$  y  $n_2$  que han sido introducidos pueden obtenerse de las zonas de Fresnel. Considerando el tamaño de la primera zona de Fresnel, puede calcularse la distancia  $d_{bp}$  a la cual ocurrirá la obstrucción de esta zona. El diámetro de la primera zona de Fresnel a una distancia  $d$  del transmisor puede aproximarse por  $Z_f \approx \sqrt{\lambda d}$

Los exponentes  $n_1$  y  $n_2$  también dependen del entorno de propagación particular. En general  $n_1$  debe estar cerca del valor del espacio libre una vez que se remueven los efectos de la antena. El parámetro  $n_2$  debe ser mayor debido a que representa la propagación cuando la primera zona de Fresnel se ha obstruido.

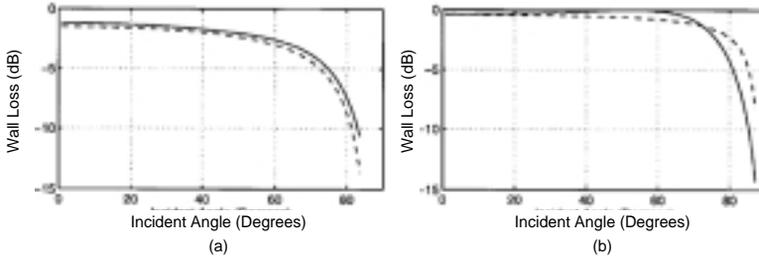
#### B. Dependencia de los factores de atenuación respecto al ángulo

Cuando la radiación electromagnética incide oblicuamente en una pared o piso, se transmitirá menos energía al otro lado de la misma que si la incidencia hubiera sido perpendicular. Por esta razón se incorpora este efecto al modelo haciendo que el **WAF(p)** dependa del ángulo de incidencia.

En general, las expresiones exactas para la atenuación por pared son algebraicamente complejas, pero su esencia puede obtenerse usando una aproximación simple. Para la incidencia horizontal se asume que la transmisión es cero, mientras que para la incidencia perpendicular se toma la pérdida igual a **WAF(p)** [o **FAF(q)**],

que se obtiene de medidas de propagación en el sitio. Para ángulos intermedios, se interpolan estos valores usando una función coseno:  $WAF(p)[dB] / \cos \theta_p$ , donde  $WAF(p)[dB]$  se toma como el factor de atenuación para incidencia normal y  $\theta_p$  es el ángulo de incidencia con respecto a la normal para la pared  $p$ . Los resultados de esta

aproximación se muestran en la Figura 1, donde también se puede observar que se comporta bien, especialmente si se compara con lo que se hubiera obtenido si no se hubieran incluido variaciones del  $WAF(p)$  con respecto al ángulo de incidencia (ver Figura 1).



**Figura 1.** Atenuación por pared como función del ángulo de incidencia para dos estructuras de pared (tomado de [1]).

(a) Pared sólida de 12.5 cm de ancho y  $\epsilon = 3$ . (b) Pared hueca de yeso, con paneles de 1 cm de ancho,  $\epsilon = 3$ , separados por 10 cm de aire. La línea sólida representa la atenuación calculada tratando la pared como un medio por capas, mientras que la línea punteada es la aproximación  $WAF / \cos \theta$ .

Incorporando de esta forma los factores de atenuación al modelo se llega a un modelo mejorado con un muy pequeño incremento en el esfuerzo computacional.

Debido a que este proyecto fue concebido para modelar la propagación de señales a nivel de un piso, no se tienen en cuenta los efectos de propagación de un piso a otro, por lo cual el parámetro  $FAF(q)$  se eliminó de la ecuación.

$$\begin{aligned}
 PL_{bp}(d) [dB] &= 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right)^{n_1} U(d_{bp} - d) \\
 &+ 10 \left[ \log \left( \frac{d_{bp}}{d_0} \right)^{n_1} + \log \left( \frac{d}{d_{bp}} \right)^{n_2} \right] U(d - d_{bp}) \\
 &+ \sum_{p=1}^P WAF(p) / \cos \theta_p
 \end{aligned} \tag{4}$$

En este modelo es necesario ajustar los parámetros empíricos  $n_1$ ,  $n_2$  y  $d_{bp}$ , que se toman como base, debido a que dependen de la frecuencia de operación del transmisor (para el caso de las redes inalámbricas 802.11b es de 2.4 GHz).

#### ADQUISICIÓN DE DATOS

Como formato para la adquisición de datos sobre los ambientes a simular,

se escogió el formato DXF<sup>1</sup> (Drawing Interchange File) de AutoCAD [3] puesto que es un formato estándar de intercambio de información entre herramientas de CAD donde todos los datos están guardados en forma de texto plano.

Este formato representa toda la información contenida en un archivo de dibujo a través de datos etiquetados, lo que significa que cada elemento de dato en el archivo es precedido por un número entero llamado código de grupo que indica qué tipo de elemento de dato lo sigue. Cada código de grupo y su valor asociado se encuentra en una línea independiente.

#### CONDICIONES DEL FORMATO DEL PLANO

El programa requiere que el plano a utilizar como fuente de datos cumpla con las siguientes características:

- El plano debe estar en formato DXF.
- Sólo se tendrán en cuenta entidades tipo Line y Polyline. Cualquier otro tipo de entidad será ignorada al importar los datos del archivo DXF.
- Las paredes, puertas y ventanas deben representarse sólo con una línea.
- Todas las entidades que compartan la misma característica de propagación (atenuación) deberán pertenecer a la misma capa.
- En el plano sólo deben existir objetos que puedan asociarse a una atenuación mensurable. Las lí-

neas únicamente deben representar objetos, no deben existir líneas que representen decoración.

#### ALGORITMO DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

El modelo fue escrito en lenguaje Java<sup>2</sup> y está pensado con orientación a objetos.

El código fuente está disponible para usos académicos exclusivamente. Cualquier aplicación comercial requiere de autorización expresa por parte de los autores.

#### EL PROCESO DE LA SIMULACIÓN

El algoritmo implementado sigue los pasos descritos a continuación:

- \* Importar el plano:
  - Obtener lista de capas.
  - Obtener arreglo de líneas
- \* Obtener parámetros del usuario:
  - Atenuación asociada a cada capa.
  - Ubicación del AP.
  - Resolución de la simulación.
- \* Asociar parámetros a objetos del modelo:
  - Asociar atenuación a líneas según la capa a la que pertenecen.
  - Normalizar las coordenadas de las líneas y de los vértices máximo y mínimo, de acuerdo con las coordenadas del AP.
- \* Ejecutar la simulación:
  - Se construye la matriz de atenuaciones de acuerdo con la resolución elegida.

1. DXF y AutoCAD son marcas registradas de Autodesk, Inc.  
2. Java es una marca registrada de Sun Microsystems, Inc.

- Se ejecuta la prueba de sombreado.
  - Se calcula la pérdida por trayectoria para cada cuadro, utilizando la ecuación del modelo.
- \* Presentar los resultados:
- Se obtiene la matriz de atenuaciones, y con ella se crea una matriz con colores codificados de acuerdo con la potencia de la señal en cada punto.
- \* Se dibuja la matriz anterior, y sobre ella se dibujan las líneas del plano.

### PRUEBA DE SOMBREADO

Es necesario buscar cuándo una línea sombrea el punto central de un cuadro, para en éste agregar una referencia a dicha línea. Se recorre el arreglo de líneas, y con cada una de ellas se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se verifica en qué cuadrantes se encuentra cada vértice de la línea.
2. Se halla la pendiente (m) y el corte con el eje y (c) de la línea.

Se halla la dirección de recorrido de la matriz, que se codifica así: (1) arriba-abajo, derecha-izquierda; (2) arriba-abajo, izquierda-derecha; (3) abajo-arriba, izquierda-derecha; (4) abajo-arriba, derecha-izquierda; (5) arriba-abajo; (6) izquierda-derecha; (7) abajo-arriba; (8) derecha-izquierda.

3. Se hallan los límites hasta donde se recorrerá la matriz. Estos límites están asociados a las direcciones de recorrido
4. Se realiza el recorrido de la submatriz de cuadritos (de acuerdo

con la dirección de recorrido y los límites definidos) para agregar la línea actual a todos los cuadros que ésta sombrea. Para cada uno de los cuadros de la submatriz se evalúa si el punto central se encuentra dentro del sector formado por los ángulos de los vértices de la línea, y si no se encuentra entre el punto (0,0) y la línea, usando un método matemático llamado desviación de un punto con respecto a una recta. [2]. Si ambas condiciones se cumplen, se agrega la línea al arreglo de líneas que posee el cuadro evaluado para indicar que esta línea lo sombrea.

### PREDICCIONES DE PROPAGACIÓN Y RESULTADOS DE MEDIDAS

Se realizaron predicciones de propagación en el segundo piso del edificio de área de postgrado de la Universidad Icesi, usando el modelo, y se compararon con medidas tomadas en el sitio. Este edificio de dos pisos fue construido en 1998, está constituido de paredes de ladrillo, y sus espacios interiores están separados por paredes de panel de yeso.

Para realizar las predicciones de propagación se obtuvo información del edificio de los planos en formato DWG de AutoCAD, los cuales fueron formateados siguiendo los lineamientos que se describieron anteriormente.

El parámetro empírico de atenuación asociado a cada pared fue obtenido realizando mediciones directas de la potencia de la señal que atraviesa la pared y comparando este valor con el obtenido a la misma distancia sin obstáculos. Estas mediciones dan como resultado una atenuación de 10 dB para las paredes de ladrillo, y 5 dB para las paredes de panel de yeso.

El parámetro empírico  $d_{bp}$  fue obtenido con la fórmula propuesta en el modelo original, teniendo en cuenta la frecuencia de operación de la red inalámbrica utilizada en las mediciones (802.11b).

Frecuencia de operación:  $f = 2.43$  GHz,

Longitud de onda:  $\lambda = c/f = 0.123$  m  
(c: velocidad de la luz)

Diámetro de la primera Zona de Fresnel:  $Zf = 5$  (Distancia entre paredes)

Distancia del *BreakPoint*:  $d_{bp} = (Zf^2) / \lambda = 25/0.123 = 203$  m

Los parámetros empíricos  $n1$  y  $n2$  fueron seleccionados ajustando el modelo a las mediciones efectuadas, ya que estos dos parámetros varían según las condiciones del sitio. Debido a que la distancia del *breakpoint* es de más de 200 m, no es fácil encontrar una situación práctica al trabajar con WLANS en interiores donde el exponente  $n2$  pueda ser aplicado en la simulación

$n1 = 3$

$n2 = 4$

En el sitio se tomaron medidas de la potencia de la señal en 39 lugares. En cada lugar se realizaron dos medidas, cada una de las cuales resulta de un promedio de la potencia de señal recibida que la herramienta (SiteSpy®) realiza durante 20 segundos (Ver Figura 2).



Figura 2. Plano del sitio de pruebas.

La simulación sobre este sitio se realizó con una resolución de 1 m para obtener un número de datos que facilitara su comparación con las medidas. Para calcular la potencia de señal en cada posición a partir de la atenuación obtenida del modelo se sumaron a esta última las pérdidas por espacio libre desde el transmisor hasta la distancia de referencia (1 m), utilizando la expresión para UHF:

$$P[\text{dB}] = 32,45 + 20 \log(d[\text{Km}]) + 20 \log(f[\text{MHz}])$$

donde  $d$  (distancia) = 0.001 km y  $f$  (frecuencia) = 2437 MHz.

Este valor resultante, que es el valor de la pérdida total, debe restarse a la potencia inicial de transmisión más la ganancia de las antenas del transmisor y el receptor. El AP utilizado, un Cisco Aironet serie 350, opera por defecto con una potencia de 100 mW (20 dBm), y posee antenas con una ganancia de 2,2 dBi, que en la práctica, debido a pérdidas en el conector y otros factores, agregan aproximadamente 1 dB a la potencia recibida. Para el adaptador del cliente, una tarjeta PCMCIA Cisco Aironet 350, puede suponerse que no hay ganancia en la antena.

Así, para cada cuadro de la simulación, la potencia de señal se obtiene de la expresión:

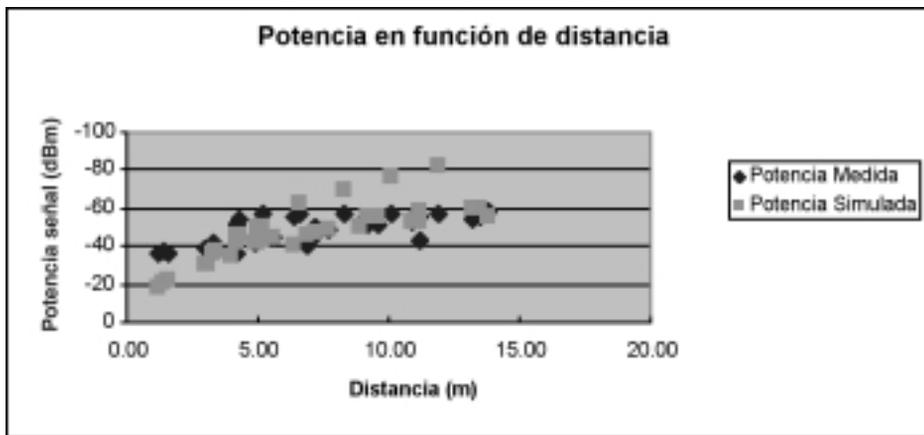
Potencia de transmisión	20 dBm
+Ganancia de antena	1 dB
- Pérdida de espacio libre hasta la distancia de referencia	37,19 dB
- Pérdida obtenida del modelo	x dB
=Potencia de señal	

Se realizó la comparación entre los datos de potencia de la señal obtenidos con las mediciones y los obteni-

dos con la simulación, consiguiendo los siguientes resultados (Ver Tabla 1 y Figura 3).

**Tabla 1.** Análisis estadístico de los resultados obtenidos del modelo base y del modelo realizado.

Modelo	Media error (dBm)	% datos con error < 5dB	% datos con error < 10 dB	Desviación error (dBm)
WPS	-0.32	48.7	82.1	8.78
Base	-0.30	54.0	86.8	6.70



**Figura 3.** Potencia de señal en función de la distancia para la potencia medida y la simulada.

También se realizó la simulación con una resolución de 20 cm para comparar ambos tiempos de procesamiento. Aun cuando se nota un aumento significativo en el tiempo requerido para obtener los resultados (aprox. 1 seg. para la resolución de 1 m y aprox. 5 seg. para 20 cm tomados desde que se ordena correr la simulación hasta que se muestran gráficamente los resultados),<sup>3</sup> el tiempo de procesamiento sigue siendo extremadamen-

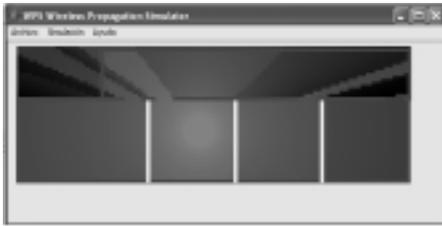
te bajo, lo suficiente para que el programa sea utilizado interactivamen-



**Figura 4.** Simulación sobre el sitio de pruebas. Resolución 1 m.

3. Utilizando un equipo con un Pentium Celeron a 1.7 GHz, 512 MB en RAM.

te. Los resultados gráficos de ambas simulaciones se muestran a continuación (Ver Figuras 4, 5 y 6).



**Figura 5.** Simulación sobre el sitio de pruebas. Resolución 20 cm.



**Figura 6.** Escala de atenuaciones (en dB) para los resultados de la simulación

## CONCLUSIONES

- Una de las grandes ventajas observadas en el modelo es su rapidez al realizar la simulación. Esto es debido a que la prueba de sombreado utiliza un algoritmo óptimo propuesto por los autores, cuya búsqueda se reduce a los sectores que probablemente sean sombreados por un determinado obstáculo.
- Debido a la rapidez computacional del modelo, se considera que puede incorporarse en una herramienta que optimice automáticamente la localización de los puntos de acceso dentro de un edificio.

- Se considera que tanto la adquisición de datos de planos arquitectónicos (en formato DXF) como la prueba de sombreado son herramientas que pueden ser utilizadas como base para futuros proyectos de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] K. W. Cheung, J. H. M. Sau, and R. D. Murch, «A New Empirical Model for Indoor Propagation Prediction», *IEEE Tran. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 8, pp. 996-1001, 1998.
- [2] Lehman, Charles H. *Geometría Analítica*. Ciudad de México, México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1963
- [3] AutoCAD 2000 DXF Referente. Autodesk, Inc. <<http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/>>

## BIBLIOGRAFÍA

- Cátedra, Manuel F. and Pérez-Arriaga, Jesús. *Cell Planning For Wireless Communication*. Boston, USA: Artech House, 1999.
- Saunders, Simon R. *Antennas And Propagation For Wireless Communication Systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1999.
- Java 2 Platform, Standard Edition, v 1.4.2 API Specification. Sun Microsystems, Inc. <<http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/>>
- The Java Tutorial. Sun Microsystems, Inc. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/index.html>

## CURRÍCULOS

**Sandra Paulina López** es Ingeniera Telemática de la Universidad Icesi (2004). Ha realizado investigaciones en el área de tecnologías inalámbricas. Estuvo vinculada laboralmente en Johnson & Johnson como analista de tecnología en el primer semestre del 2004. En la actualidad es Administradora Junior de Red de la Universidad Icesi.

**Juan David Osorio Betancur** es Ingeniero Telemático de la Universidad Icesi (2004). Ha realizado investigaciones en el área de tecnologías inalámbricas. Es Socio Fundador y Jefe

de Tecnología de Psidium Ltda, empresa dedicada a la prestación de servicios de valor agregado sobre telefonía celular. Contacto: juandos@gmail.com

**Andrés Navarro Cadavid.** Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Magíster en Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Doctor en Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor - Investigador del departamento de Redes y Comunicaciones y director del grupo i2T de la Universidad Icesi. 

