

# Redes de área corporal. Una perspectiva al futuro desde la investigación

Body Area Network. A perspective to the future, from research

**Leonardo Betancur, Ph.D.**

Docente investigador – Facultad de  
Telecomunicaciones e Informática  
Universidad Pontificia Bolivariana.  
Medellín (Colombia)  
leonardobetancur@iee.org

Fecha de recepción: 1 Diciembre / 2010

Fecha de aceptación: 13 Enero / 2011

## Palabras clave

Redes de área personal, canales,  
aplicaciones móviles, biónica.

## Keywords

Body area network, channels,  
mobile applications, bionics

Colciencias **3**  
tipo

## Resumen

Actualmente, las redes de área corporal (*Body Area Network*) han logrado una especial relevancia, en particular por las tendencias que muestran su uso en la medicina, en aplicaciones de monitoreo y emergencia. Han surgido nuevos esquemas regulatorios y de estandarización, que han permitido la creación de nuevos estándares de comunicaciones, tales como *Bluetooth*, *ZigBee*, *Ultra Wide Band (UWB)*, *ECMA368*, *WiFi*, *GPRS*, *LTE*, entre otros que tratan de dar soluciones a distintos retos y necesidades que surgen a medida que se incorporan estas tecnologías al estilo de vida. Este documento presenta el estado actual de las redes de área corporal desde una perspectiva de la investigación, que incluye un estado general de la regulación y estandarización de las redes de área corporal, la descripción de las aplicaciones y tendencias investigativas, y el posible futuro que enmarcan las comunicaciones de área personal

## Abstract

Body Area Networks (BAN) is a growing field for such applications like Health monitoring and health related issues. Recently, new standards and technologies have been proposed, like Bluetooth, ZigBee, Ultra Wide Band (UWB), ECMA 386, WiFi, LTE, etc, oriented to provide solutions to different problems and requirements arising from our current life style. This document presents a revision of the current developments in Body Area Networks from a research point of view, revising aspects of standardization, applications and future trends in this amazing field.

## I. Introducción

Actualmente, las comunicaciones inalámbricas han ganado gran relevancia y juegan un papel muy importante, tanto en la vida laboral como en el estilo y calidad de vida de nuestra sociedad. Conceptos como la ubicuidad permiten que una persona se pueda conectar en cualquier lugar, de cualquier forma y con quien desee hacerlo. Dentro de la clasificación de redes inalámbricas, se han considerado las redes por su nivel de cobertura, por ello, tenemos redes de área extendida, área metropolitana, área local y área personal. En las redes de área personal se destaca el reciente interés por las redes de área corporal, las redes de comunicaciones que se encuentran dentro, cerca y alrededor de una persona. Allí podemos hallar algunas tecnologías ya existentes, adaptables perfectamente a estos requerimientos, como lo son *Bluetooth*, *ZigBee*, *millimeter-wave* y *Ultra Wide Band* [1], [2], [24], [29], [43].

Las redes de área corporal son sistemas de comunicaciones de pequeña escala. Las transmisiones se realizan dentro, alrededor o sobre el cuerpo humano, por consiguiente las transmisiones de área corporal tienen características evidentes. Una de las primeras es que la cobertura se encuentra confinada a distancias no superiores a los 2 ó 3 metros, y en segundo lugar, las emisiones de energía de este tipo de tecnologías son muy bajas, lo que contribuye a la larga vida de las baterías de los dispositivos, la reducción de los niveles de interferencia para la coexistencia con otras tecnologías, y la operación con potencias por debajo de los niveles que pueden ser dañinos para el ser humano.

Las principales aplicaciones de las redes de área corporal se encuentran en medicina y entretenimiento. Las aplicaciones médicas se centran en el monitoreo de variables del cuerpo humano para el diagnóstico de enfermedades, gestión y control de tratamientos, prótesis inteligentes y mecanismos que mejoran la calidad de vida de los pacientes, como por ejemplo mejorar la interacción de personas que tienen limitaciones físicas o problemas con órganos internos o de los sentidos, asistencia en cirugías y diagnóstico de enfermedades, etc. En segundo caso, las aplicaciones de entretenimiento y de intercambio de información se centran en la transferencia de ráfagas de información multimedia, audio, video y datos para dispositivos como reproductores de música y video, así como aplicaciones para la automatización de las oficinas, la industria y el hogar, en donde el posicionamiento, el automatismo y las alternativas de conectividad a Internet brindan sus principales beneficios.

Las comunicaciones de área corporal se dividen en dos áreas de acuerdo con la característica del medio de propagación, la primera clasificación recibe el nombre de comunicaciones intracorporales. En ellas, las transmisiones se realizan a través del tejido humano, por lo que se debe atravesar músculo, piel y algunos otros medios de transmisión en condiciones especiales. Es evidente que los dispositivos que soportan este tipo de aplicaciones son invasivos. Por esta razón, también se les llama así. En segunda instancia están las redes de área corporal no invasivas o superficiales, donde todas las transmisiones se realizan sobre la superficie del cuerpo humano, ya sea sobre la piel o ropa empleada. En ocasiones, se podría hablar de “vestir” a este tipo de dispositivos.

En este documento se presentan las características típicas de los modelos de canal y sus tendencias, con un análisis de los principales aspectos y retos investigativos. Inicia hablando de las características de los canales de área corporal; prosigue con las tendencias a corto plazo en la investigación en esta área, seguido de un breve estado del arte del aspecto regulatorio y de los estándares tecnológicos que se asocian a este tipo de transmisiones; continúa con una explicación de las principales aplicaciones y posibles escenarios de operación de las redes de área corporal, y finaliza con las conclusiones.

## II. Modelos de canal

Los modelos de canal analizan dos aspectos: los comportamientos de gran escala y los comportamientos de pequeña escala.

En los aspectos de gran escala se determinan y estudian las pérdidas de energía por los efectos de propagación, pérdidas en el espacio libre, absorción y penetración en el cuerpo humano. En este tipo de aspectos se pueden encontrar una gran variedad de modelos de *path loss*. La gran mayoría de estos modelos se realizan mediante aproximaciones estadísticas basadas en campañas de medidas. Y en segundo lugar, con modelos de *path loss* de manera determinística.

En un modelo de *path loss*, se puede predecir el nivel de potencia en el terminal receptor, qué tipo de relación señal a ruido hay presente, y permite calcular los presupuestos de enlaces, así como los controles de ganancia automáticos y los procesos de modulación y codificación adaptativa más adecuados.

En los modelos de pequeña escala interesa determinar la respuesta al impulso del canal. Con dichos parámetros se puede establecer la distorsión del canal, el desvanecimiento selectivo en frecuencia y la estabilidad del canal entre otros. Sobre esta información se pueden diseñar las técnicas de modulación más adecuadas, encontrar las tasas de transmisión óptimas y los esquemas de ecualización en banda ancha. La gran mayoría de los modelos se basan en aproximaciones estadísticas para describir la forma de la respuesta al impulso. Por otro lado, los modelos determinísticos emplean simulación de ambientes virtuales, la solución de las ecuaciones de Maxwell y métodos de trazo de rayos para caracterizar la respuesta al impulso del canal.

### A. Modelos de gran escala

Las pérdidas por propagación en los canales de área corporal se puede describir por medio de tres fenómenos, principalmente propagación en fluidos, dispersión, difracción y refracción por penetración [1], [3], [7], [8], [9], [11], [20], [21], [22], [25], [30], [31], [42], [44]; la difracción es el fenómeno dominante en ambientes superficiales, ya que el cuerpo y su superficie incitan este tipo de comportamientos, a nivel de propagación intracorporal, refracción y propagación en fluidos son los fenómenos dominantes. En la figura 1 se aprecian las características generales del comportamiento de las pérdidas de propagación dado de que la señal electromagnética

penetra distintas partes del cuerpo humano. Los modelos estadísticos suelen ser los más comúnmente empleados, y en general tienen la forma:

$$PL = PL_0 + 10\eta \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + \varsigma_{\mu, \sigma} \quad (1)$$

En donde  $PL$  es la pérdida por espacio libre en dB,  $10\eta \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right)$  es el factor de pérdidas por distancia, en donde  $\eta$  es el coeficiente de pérdida por propagación de acuerdo con el ambiente.  $PL_0$  es la pérdida constante a una distancia de referencia  $d_0$  que depende de la frecuencia de operación de la tecnología, y  $d$  es la distancia en la cual se desea calcular las pérdidas. El término  $\varsigma_{\mu, \sigma}$  corresponde al *shadowing*, que se modela como un parámetro de variabilidad estadística que depende de una función de distribución de probabilidad con una media cero y varianza constante.

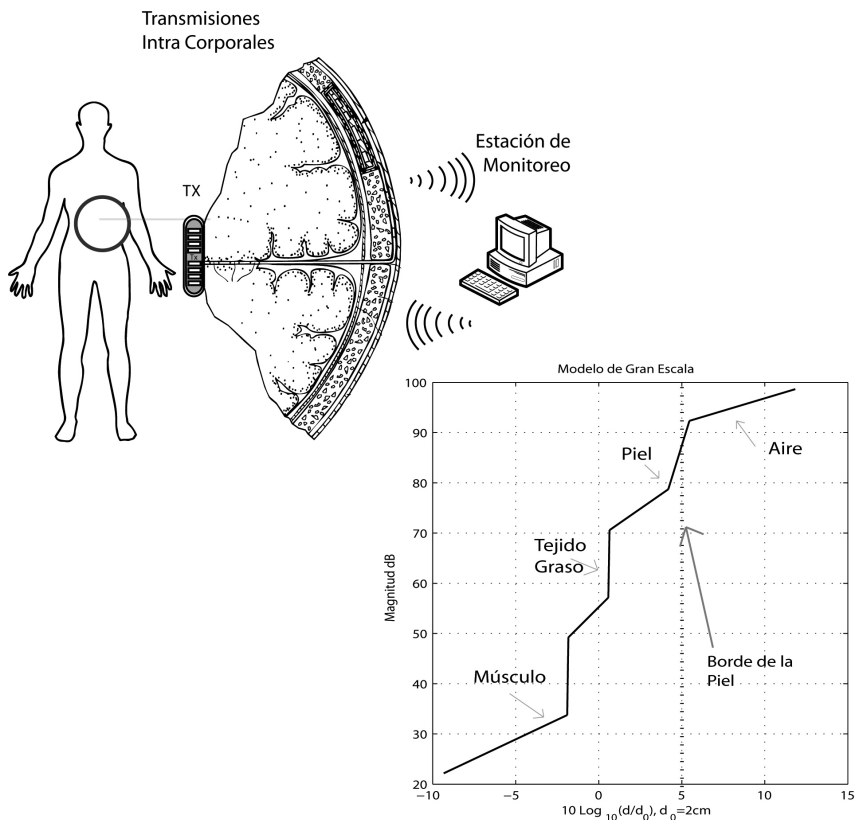


Figura 1. Modelos de canal de gran escala

De los trabajos que se pueden encontrar en la literatura internacional, se aprecia que los modelos obtenidos de path loss para redes de área corporal superficial tienen una variabilidad muy alta (variaciones hasta de  $\pm 30$ dB en un mismo modelo para distancias prácticamente iguales), y no hay consenso establecido para caracterizar las pérdidas de propagación alrededor del cuerpo humano.

Algunos otros autores se atreven a realizar aproximaciones un poco más particulares del modelo de path loss, como [6], donde de los resultados de medidas se decide hacer una aproximación de un modelo a dos tramos, cada uno de los tramos corresponde a una ecuación de pendiente simple. Es posible que esto sea evidencia de que hay que clasificar el modelo de propagación y de canal por tramos, ya que el comportamiento en cercanías inmediatas (unos 20 cm o menos) tiende a un tipo de comportamiento característico de línea de vista y para distancias mayores, hay un ambiente muy distinto, en donde la difracción es el fenómeno de propagación que más contribuye.

En otras aproximaciones [22] se realiza una aproximación para las bandas generalmente no licenciadas de aplicaciones banda angosta a un modelo de *path loss* (en un rango de frecuencias de 400MHz, 900MHz 1400MHz y 2.4GHz). Se toman todos los resultados e interpolan en 3D, una función que evidencia una dependencia en frecuencia del modelo de *path loss*. Por lo tanto es muy importante incluir en el modelo de path loss la dependencia de la frecuencia del término  $PL_o$ . En especial cuando se emplea una comunicación banda ancha, para banda angosta, es suficiente con establecer la constante a la frecuencia de operación.

La principal razón de las altas variabilidades de los modelos de *path loss* se debe a que el cuerpo humano introduce grandes cambios en el comportamiento del canal; la respiración, la temperatura, la ropa y el movimiento y las posiciones del cuerpo humano afectan las campañas de medida, como lo corrobora [46]. Es necesario establecer cómo mejorar las campañas de medidas de manera que el uso de la ropa, la respiración y la temperatura no afecten dramáticamente las medidas de canal. Se ha visto que se emplean maniqués y modelos fantasmas. Sin embargo este tipo de aplicaciones no permiten apreciar el comportamiento y la dinámica que introduce un ser real.

En los modelos determinísticos se emplean dos técnicas básicas para encontrar el modelo del cuerpo humano. La principal consiste en analizar la propagación de las señales con ecuaciones de propagación de onda superficial (frentes de onda) o soluciones a las ecuaciones de Maxwell usando métodos FDTD o DG (métodos numéricos) que son aplicados sobre un modelo del cuerpo humano. Generalmente el modelo del cuerpo humano corresponde a un conjunto de cilindros dieléctricos que representan el torso, las extremidades y la cabeza. Autores como [25], [16], [43] realizan aproximaciones de tipo analítico del cuerpo humano, que generalmente actúa como un material dieléctrico.

Este tipo de modelos requieren altos niveles de procesamiento analítico en simulación y la fidelidad de la respuesta al mundo real solo se debe a la sintonización que se hace entre las campañas de medida y el modelo obtenido en simulación, sin embargo

los efectos que producen la ropa, la respiración y la temperatura corporal no se han modelado adecuadamente.

Otras técnicas para modelar el modelo de propagación intracorporal, consiste en modelar al cuerpo humano como un circuito equivalente compuesto de una serie de elementos capacitivos, inductivos y resistivos en una configuración serie - paralelo [54], de lo cual se pueden obtener aplicaciones en redes de sensores corporales o entretenimiento, como se muestra en [50].

La transmisión a través de un tejido humano se puede considerar como propagar una señal a través de un material dieléctrico [18], [28], por lo cual se puede emplear un modelo como:

$$T = \frac{T_k T_{k+1} \exp(-j\alpha(f))}{1 + \rho_k \rho_{k+1} \exp(-2j\alpha(f))} \quad (2)$$

Donde  $T_k$  es el coeficiente de transmisión y  $\rho_k$  es el coeficiente de reflexión y el índice  $k$  indica el medio de propagación (dos medios de propagación distintos). El término  $\alpha(f)$  es el valor dependiente de la frecuencia para el material dieléctrico que depende del ángulo que forma la onda incidente sobre la superficie de cambio entre los dos materiales y viene determinada por la expresión:

$$\alpha = \frac{2\pi}{C_0} f \sqrt{\epsilon_\gamma} d \cos(\theta) \quad (3)$$

En donde  $d$  es el grosor del dieléctrico,  $\theta$  el ángulo incidente,  $C_0$  es la velocidad de la luz,  $f$  es la frecuencia de operación y  $\epsilon_\gamma$  es la constante de dieléctrica del material.

Aun es prematuro elaborar un modelo de canal para transmisiones intracorporales. De hecho el proceso de caracterizar las constantes dieléctricas de los tejidos vivos de un ser humano no es un experimento fácil de lograr, más aun si se considera que dicho valor no permanece constante en el dominio del tiempo. Por ejemplo, los músculos, cuando se estiran y contraen, cambian su ancho, y el valor del parámetro dieléctrico.

Hasta donde se tiene conocimiento, el avance en esta área de investigación es muy incipiente, y se necesitan desarrollos tanto en modelos de path loss como modelos de respuesta al impulso, que permitan modelar el canal con más precisión. Los resultados preliminares son inciertos aún, por lo tanto esta área necesita de un gran desarrollo y exploración académica [37].

### **B. Modelos de pequeña escala**

Los modelos de pequeña escala pueden ser estadísticos o determinísticos. En un modelo determinístico se calcula cada una de las componentes de multitrayectoria que se conforman entre el transmisor y el receptor. En un modelo estadístico, se describe de

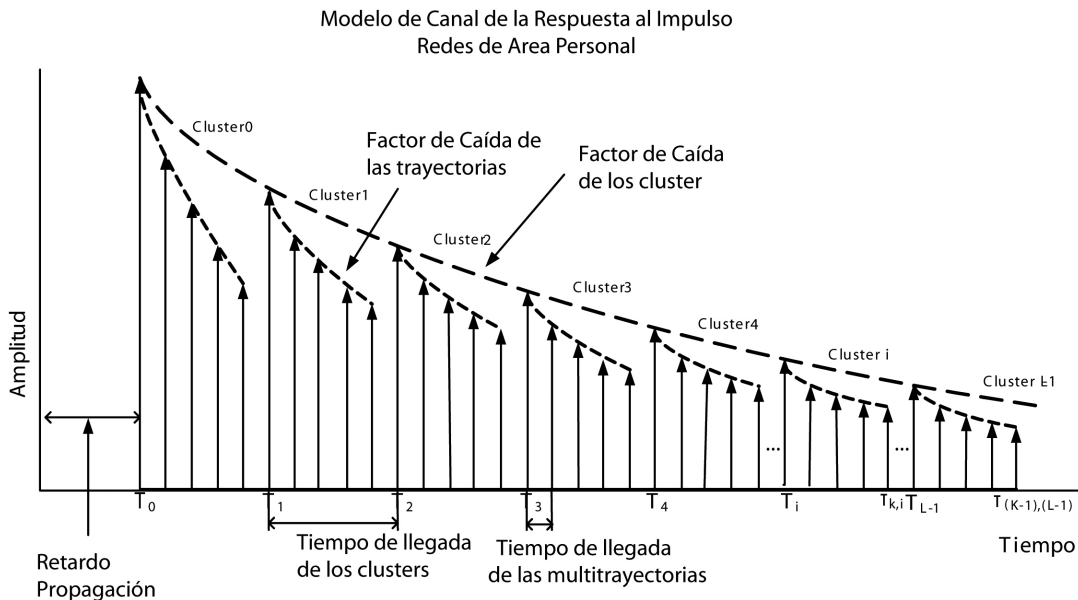


Figura 2. Modelos de canal de pequeña escala

manera probabilística la forma de los parámetros de la respuesta al impulso, es decir, se calcula la amplitud, retardo y fase de cada una de las componentes de multitrayectoria. Los modelos de canal para redes de área corporal se representan de la siguiente forma (ver figura 2):

$$h(t, \tau) = \sum_{k=0}^N \Omega(t) \Psi(t) \delta(t - \tau_k) \quad (4)$$

Donde  $h(t, \tau)$  es la respuesta al impulso del canal de forma generalizada para este caso,  $\Omega(t)$  son las amplitudes complejas de las respuestas al impulso del canal,  $\Psi(t)$  es la función que representa la variabilidad del canal en el dominio del tiempo y  $\tau_k$  es el índice de los retardos de cada una de las  $N$  componentes significativas de multitrayectoria

Describir la variabilidad de cada uno de estos parámetros es el proceso que realizan los distintos investigadores de la materia. Se ha logrado generalizar las siguientes apreciaciones:

- » Los canales banda angosta para redes de área corporal manejan modelos simples que describen el comportamiento aleatorio de la amplitud de acuerdo con una distribución de probabilidad. El comportamiento de la fase se modela mediante una distribución uniforme, y el tiempo de llegada de las multitrayectorias sigue una distribución de llegada exponencial (tiempo entre componentes).

- » Cuando los modelos de Canal abarcan grandes anchos de banda, se emplea el modelo Saleh – Valenzuela Modificado [38]. Este modelo ha sido ampliamente usado en este tipo de canales representa de manera adecuada el comportamiento de *clusterización* de los componentes de propagación; es decir, los difusores y elementos que reflejan las señales aportan varias trayectorias hacia el receptor.
- » No hay un acuerdo general sobre la amplitud del desvanecimiento en las redes de área corporal. Zasowski [53] afirma que las amplitudes tienen una distribución *lognormal*, Chen aproxima varias distribuciones que pasan el criterio de bondad en la aproximación del modelo probabilístico y se modelan como distribuciones *lognormal* y exponencial [6]. En [22] aproximan las amplitudes a una distribución **lognormal**. Fort [11] define que las contribuciones llegan en grupos de clústers y afirma que la disposición de las amplitudes sigue una distribución *lognormal*.
- » Los tiempos de llegada de los modelos de pequeña escala suelen ser descritos mediante distribuciones exponenciales, sin embargo los modelos de canal que presentan *clusterización*, requieren aproximaciones más complejas, por lo cual se emplean distribuciones exponenciales mezcladas que tratan de explicar el fenómeno de *sobrelapamiento* de los clúster generados por los difusores [27].

### III. Tendencias en investigación

Al observar el estado del arte se considera que los principales motivos de investigación en el tema de redes de área corporal son los siguientes:

#### A. Modelos de Canal

Los modelos de canal para redes de área corporal han sido explorados con anterioridad, ([6], [1], [8], [11], [16], [20], [22], [23], [29], [33], [43], [50]) entre otros. Sin embargo hay algunos asuntos sin resolver dentro de los modelos de canal que requieren una solución y se resumen en los siguientes puntos:

- » Encontrar un modelo matemático que considere los canales de banda ancha y ultra ancha con *sobrelapamiento* de clústers, y hallar la incidencia de este tipo de modelos sobre el tiempo de llegada de cada una de las contribuciones de *multitrayectoria* en la respuesta al impulso del canal.
- » Disminuir la variabilidad del parámetro de *shadowing* en los modelos de *path loss*, es decir, en otras palabras, encontrar un modelo de *path loss* más fidedigno a los fenómenos de *difracción* y *reflexión* que se presentan en el cuerpo humano, y que no se vea afectado por los procesos de *respiración* y *movimiento humano*. O bien, si no es posible aislar estos efectos, que los considere. Esto requiere diseñar alguna metodología muy precisa en las campañas de medida.
- » Encontrar un modelo de canal para transmisiones de dispositivos *invasivos*. Los modelos de canal que transmiten desde el interior del cuerpo humano no son claros. Hasta donde se tiene conocimiento, aún no hay campañas de



medida que tengan este tipo de consideraciones, ya que realizar o diseñar un experimento que permita obtener medidas no es claro.

- » Elaborar un modelo de canal que tenga los cambios de desvanecimiento en el dominio de la frecuencia y en el tiempo del canal, considerando al cuerpo humano en movimiento. Por lo tanto, no solo hay que diseñar las campañas de medida sino que también hay que identificar los parámetros de estabilidad, conjuntamente en frecuencia y tiempo.

### **B. Diseño de antenas**

De los trabajos explorados en el desarrollo de antenas para aplicaciones de redes de área corporal, es claro que hay dos tendencias importantes:

- » Diseñar y encontrar la configuración de antenas para aplicaciones invasivas. Una clara tendencia en aplicaciones médicas, ([50], [49]) y el grupo de trabajo IEEE 802.15.3 TG6 son muestras claras de que esta área de investigación es incipiente y requiere de más atención, ya que los retos de diseño son elevados.
- » El uso de antenas en contacto con el cuerpo humano cambia drásticamente los patrones de radiación y efectos de campo lejano y cercano. Dado que los equipos de transmisión y recepción para redes de área corporal estarán en contacto con la persona, es necesario explorar alternativas que faciliten su uso y acople. El diseño de antenas textiles [46] es una tendencia importante en el campo del desarrollo de antenas de área corporal.

### **C. Diseño de receptores**

Debido al ambiente de operación, los dispositivos que operan en las redes de área corporal deben tener un tamaño muy reducido, operar a batería durante largos períodos y tener la suficiente capacidad de procesamiento para realizar la transmisión y las medidas de variables del entorno, en caso de redes de sensores, o deben tener elementos de conversión analógico a digital de gran precisión para interfaces nervio - eléctricas. El proceso de miniaturización es uno de los retos del diseño de receptores.

No es claro qué tipo de estructura deben tener los receptores. En los últimos años, OFDM ha ganado popularidad y un despliegue tecnológico muy relevante, y se ha constituido en uno de los candidatos para la transmisión de información de banda ancha en canales con profundos desvanecimientos conservando altas tasas de transmisión. Sin embargo, dada la inestabilidad de los canales de área corporal, emplear demodulación coherente es todo un reto. Para el caso de OFDM en particular, el usar solo las portadoras piloto y unas cuantas portadoras como secuencia de estimación de canal, son insuficientes para compensar los errores y los desvanecimientos profundos, y los cambios de canal a la hora de ecualizar la señal recibida. Es necesario adoptar nuevos esquemas de ecualización de canal para los sistemas OFDM.

Otra alternativa en la estructura de los receptores es emplear receptores por correlación y receptores basados en estructuras tipo RAKE. La idea principal de este

tipo de receptores es emplear una serie de etapas que retardan la señal recibida, según el tiempo de llegada de cada una de las componentes de multitrayectoria, y en una etapa final combinarlas mediante un integrador o correlador, del cual obtienen la señal recibida de acuerdo con un valor de umbral. Este tipo de receptores funcionan adecuadamente para canales que son poco densos. Sin embargo, cuando el ancho de banda y la frecuencia de operación se incrementan, la construcción en circuitos integrados y escalabilidad del diseño se complica notablemente. Por lo tanto se han producido varias etapas de solución, como por ejemplo los receptores *transmittedreference* [4] que mejoran el proceso de complejidad mediante una etapa de correlación, y posteriormente, receptores tipo *frequency-shifted* referente [12], donde se incrementa la simplicidad del receptor al usar etapas que mezclan la transmisión en el dominio de la frecuencia mediante tonos ortogonales. En este orden de ideas hay componentes técnicos para comunicaciones banda ancha que aún no se han resuelto, y que tratan de disminuir la complejidad de los receptores, en especial para comunicaciones UWB, como el excesivo muestreo de las señales, y el problema de procesar y ecualizar la señal en el demodulador con un número reducido de muestras (por debajo del criterio de Nyquist). El diseño de receptores simples, que trabajen en bandas de 5.4 GHz, 60 GHz (millimeter wave), con anchos de banda de unos 7 GHz a 10 GHz (aplicaciones UWB) es un tema abierto, con múltiples líneas de exploración, y sin un consenso en la solución.

Dado que los ambientes de transmisión son altamente variantes, es más robusto emplear esquemas de modulación adaptativa, es decir, cambiar el esquema de modulación y codificación de acuerdo con la calidad del canal, lo que significa que para obtener una tasa de transmisión efectiva máxima para una relación señal a ruido dada, es necesario determinar el esquema de modulación de más alto orden posible, a la menor tasa de error que se pueda establecer. Para este tipo de aplicaciones, es válido realizar un censado del canal. Este tipo de censado se conoce como CSI (*Channel State Information*). El CSI se obtiene a partir de un procesamiento de una información a priori que el receptor mide, es decir, se emplean secuencias de entrenamiento o elementos como portadoras piloto para determinar los parámetros como son la intensidad y varianza del ruido, y la potencia promedio de la señal recibida, tiempos de coherencia del canal y parámetros de dispersión. La veracidad y precisión de la información del CSI depende proporcionalmente del número de muestras que se disponen, y según el parámetro que se desea calcular, se requiere medir ciertos aspectos muy particulares. El parámetro CSI más empleado es la estimación de la SNR. En [26], [41], [5] se denota que es necesaria gran cantidad de muestras y cómputos para calcular un parámetro tan básico, por lo tanto se puede tomar mucho tiempo para estimar este tipo de parámetros a nivel de procesamiento de señales, de manera que cuando se va a utilizar la información obtenida para hacer el cambio de modulación y codificación, el canal ha variado tanto que no será efectiva la decisión hecha. La tendencia ahora es explorar

mecanismos de estimación de parámetros CSI recursivos que no requieran grandes tiempos de procesamiento, a una baja complejidad.

#### **D. MIMO en redes de área corporal**

La aplicación de MIMO en redes de área corporal tiene restricciones, el uso de MIMO en frecuencias por debajo de 10 GHz y a distancias muy cortas tiene serios problemas de interferencia, ya que los patrones de radiación no alcanzan a ser dirigidos a las distancias de operación de una red de área corporal. Igualmente, el tamaño de las antenas que se requieren en los equipos para garantizar bajos niveles de interferencia no tiene mucho sentido. En la banda de 60 GHz se ha explorado el uso de transmisiones de UWB. Si se considera la longitud de onda de esta banda se requieren dimensiones de antenas lo suficientemente pequeñas como para poder hacer uso de aplicaciones MIMO a distancias entre 1 y 2 metros; igualmente, en estas bandas de operación, la penetración de la onda electromagnética es mínima, y básicamente el efecto de reflexión y difracción son los fenómenos dominantes. Por lo tanto, el uso de MIMO es una alternativa que apenas se está explorando y un tema abierto en investigación [40].

#### **E. Redes cooperativas**

El desempeño de los protocolos de comunicación de las redes de área corporal puede reducir dramáticamente su desempeño debido a que las variaciones del canal en el dominio del tiempo son muy severas. De hecho, las variaciones temporales del canal impactan el desempeño de una red tipo estrella, con grandes pérdidas de paquetes. Una manera de evitar este problema es mediante la implementación de mecanismos de cooperación entre los elementos que componen las redes de área corporal. En propuestas como [13] se puede apreciar las ventajas de las redes cooperativas como una solución para redes de comunicaciones en ambientes de transmisión hostiles.

### **IV. Regulación y estandarización**

Las tecnologías empleadas para comunicaciones de redes de área corporal precisan bajas potencias de emisión, la principal razón es emplear intensidades de campo que se encuentren por debajo de los niveles que puedan afectar la salud del ser humano, así como permitir una coexistencia de este tipo de redes con tecnologías ya posicionadas en el medio. Es claro que a distancias tan cortas de transmisión, se requieren potencias de radiación bajas (alcances no mayores de dos metros de distancia).

En los últimos años se puede ver una serie de regulaciones tecnológicas y varios estándares de tecnologías que pueden ser empleadas como sistemas de comunicaciones de área corporal. Explícitamente la IEEE en noviembre de 2007 conformó el grupo de trabajo IEEE 802.15 *Working Group TG6: Body Area Networks*. Su objeto es desarrollar un estándar de comunicaciones óptimo para equipos que transmiten dentro, desde y alrededor del cuerpo humano (IEEE802.15 TG6, 2007). Este grupo de estandarización ha propuesto una serie de temas de investigación y plantea la necesidad de obtener modelos de canal más adecuados para representar el cuerpo humano, tanto para

transmisiones internas, como para transmisiones sobre la superficie y alrededor del mismo. Las bandas adecuadas de operación, los esquemas de modulación y técnicas de acceso al medio que tengan un rendimiento más propicio desde el punto de vista técnico y económico; hasta donde se tiene conocimiento no hay un *draft* definitivo que establezca una dirección precisa del estándar, ya que es un tema de reciente desarrollo e interés al interior del grupo IEEE 802.15. Dicho grupo de trabajo trazará durante los próximos años los lineamientos que este tipo de tecnologías han de seguir.

Existen también aspectos regulatorios y de estandarización que estrictamente no son para redes de área corporal, pero que al ser enmarcados dentro de las redes de área personal, cumplen con los requisitos suficientes para ser tomados en cuenta. Entre ellos tenemos los estándares Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4), las propuestas de Ultra Wide Band en (IEEE 802.15.4a), el estándar europeo ECMA 368 - ISO/IEC 26907 y las regulaciones de la FCC de 2002 para las redes de Ultra Wide Band.

- » **Bluetooth** es una tecnología (IEEE 802.15.1) que opera en la banda no licenciada ISM de 2.4GHz; emplea la técnica de *Frequency Hopping Spread Spectrum* sobre un rango de 79 frecuencias distintas, con un esquema de modulación GFSK y alcanza velocidades de hasta un 1Mbps en la primera versión y una capacidad de hasta 3Mbps en la versión Enhanced. Las potencias de radiación son de 0dBm, 4dBm y 20dBm.
- » **ZigBEE (IEEE 802.15.4, 2004)** opera en la banda de 868 MHz. en Europa, 915 MHz en USA y Australia y 2.4 GHz. en casi el resto del mundo. Los radios ZigBee operan mediante *Direct Sequence Spread Spectrum*, en 868 MHz usa BPSK a 20 Kbps por canal, en 915 MHz. También emplea BPSK y alcanza velocidades de 40Kbps. Y en la banda ISM de 2.4GHz emplea QPSK y alcanza velocidades de hasta 250 Kbps por canal. La potencia máxima de radiación típicamente no supera los 0dBm (1mW)
- » **ECMA 368 - MB OFDM (ECMA 368, 2007)** es la evolución en Europa del estándar UWB para OFDM. Se definió una primera versión en diciembre de 2005 y la última revisión data de diciembre de 2007. Trabaja de la banda de 3.1GHz a 10.6 GHz. Divide dicha banda en 5 sub-bandas con canalizaciones internas de 3 bandas de 528MHz para los cuatro primeros grupos y 2 para el quinto. Emplea varios de esquema de modulación que pueden ser QPSK, y DCM y permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 480Mbps. La definición de este estándar emplea OFDM para la transmisión sobre 128 portadoras ortogonales, y para cada una de los grupos, considera un *frequency hopping* establecido, razón por la cual le otorgan el nombre de Multi Band OFDM. La potencia de emisión máxima es de -43dBm.
- » **FCC - UWB IR (FCC, 2002)**. La FCC estableció una serie de definiciones para las tecnologías de UWB en 2002. Allí especificó las mascararas espectrales de radiación para este tipo de tecnologías y asumió que toda transmisión de banda ultra ancha

es aquella que supera los 500 MHz o cuyo ancho de banda fraccional es mayor del 20 %. No aclara ni define los esquemas de modulación ni técnicas de acceso al medio que se deben emplear, por lo que dicho asunto quedo libre a cada uno de los fabricantes y propuestas de estandarización vigentes para esa fecha.

## V. Aplicaciones

Las aplicaciones para este tipo de redes se dan como un complemento para otro tipo de tecnologías. En la figura 3 se aprecia un esquema general de la gran variedad de aplicaciones posibles con las redes de área personal. Al agrupar los esquemas más sobresalientes se destacan las aplicaciones médicas, de entretenimiento e intercambio de información.

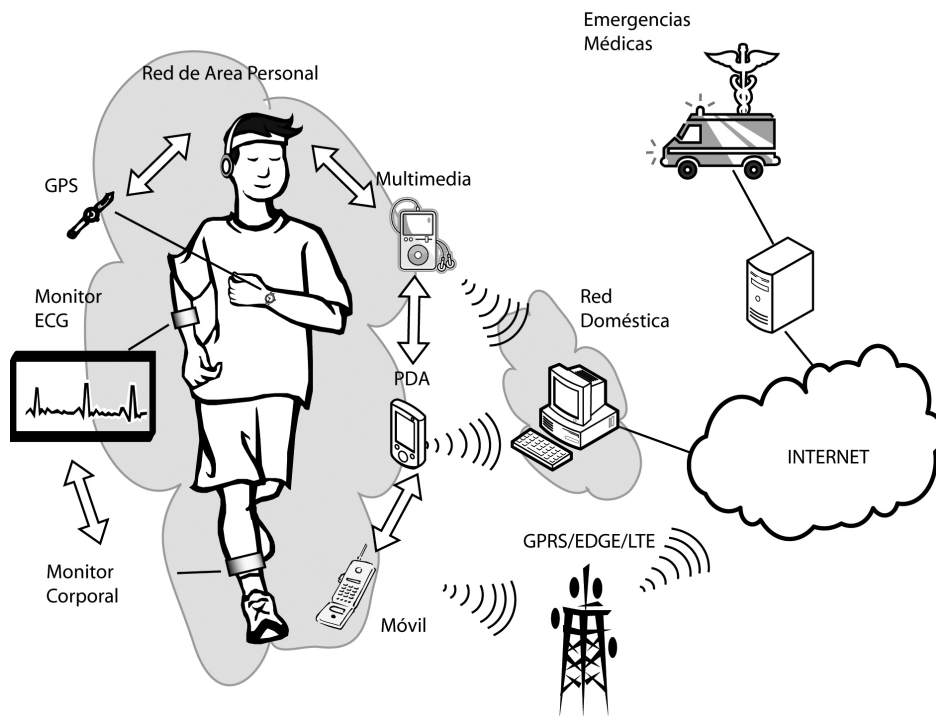
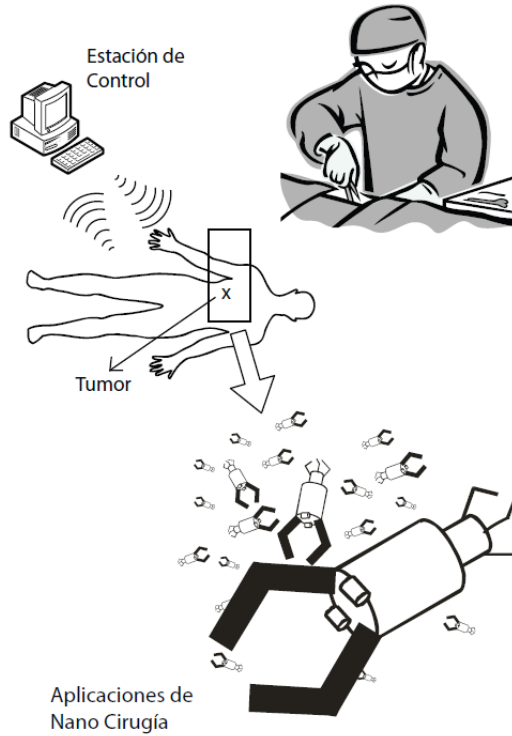


Figura 3. Aplicaciones

### A. Aplicaciones médicas

Las redes de área corporal tienen un potencial enorme en medicina, por su capacidad de revolucionar muchas de las maneras en que se realizan varios de los procesos fundamentales como lo son el diagnóstico, el monitoreo, las cirugías y los tratamientos médicos.



**Figura 4.** Aplicación médica: Cirugía

En las aplicaciones de diagnóstico, un médico toma por medio de unos sensores ubicados en el cuerpo del paciente, la información necesaria para realizar un examen. En este caso, una unidad central procesa toda la información que proviene de una nube de sensores. La transmisión puede ser unidireccional, de los sensores a la estación central o nodo coordinador, y la información capturada es procesada por una aplicación y/o sistema de información que despliega la información en imágenes, señales o estadísticas.

En el segundo caso, para la misma topología de red, se tiene una serie de pacientes que se encuentran en sala de cuidados intensivos o en sala de recuperación; una unidad centralizada recibe los datos de los signos vitales de interés de los pacientes, y con base en una base de datos, un sistema de información o un aplicativo desarrollado a medida, se encarga de automatizar el suministro de medicamentos en los tratamientos, y de generar las alarmas y llamados de emergencia al personal calificado en caso de una eventualidad en alguno de los pacientes.

En el ámbito de la cirugía, en un futuro no muy lejano, será posible desarrollar una serie de nanomáquinas que se comunican y son coordinadas por medio de un agente externo, posiblemente una estación de trabajo que dirige un trabajo cooperativo, y permite realizar cirugías y tratamientos médicos sin necesidad de operar o hacer cortes sobre el paciente (ver figura 4).

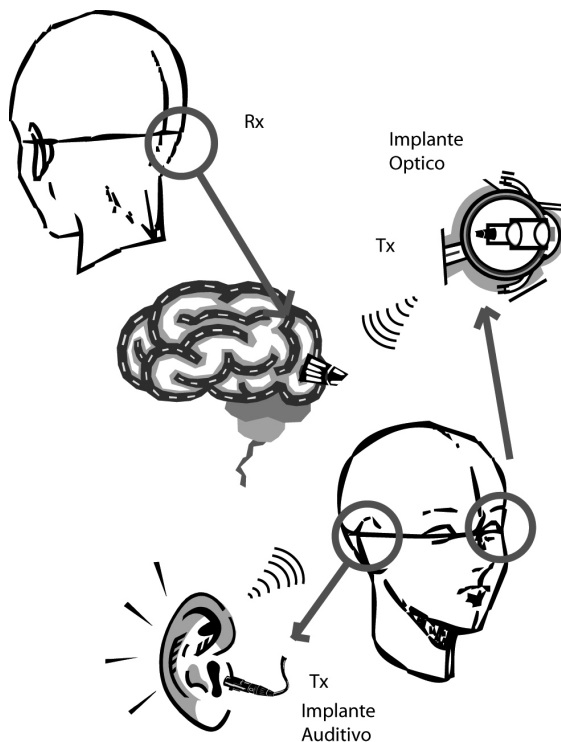


Figura 5. Aplicación médica: Implantes

En el mismo orden de ideas, será posible desarrollar miembros biónicos (ver figura 5) que suplan órganos vitales o de los sentidos de un paciente. La comunicación de máquina - hombre, demanda complejos esquemas de comunicación y una gran cantidad de inconvenientes por resolver.

### B. Entretenimiento

Cuando nos referimos a las aplicaciones de entretenimiento, se sugieren topologías de red punto a punto y/o estrella. Dichas transmisiones se hacen sobre y alrededor del cuerpo humano, y el intercambio de información se da entre los dispositivos de comunicación (relojes, PDAs, mp4, celulares...) que podemos “vestir”. Dentro de esta categoría se hacen las siguientes anotaciones:

**Entretenimiento Multimedia:** Corresponde a las transmisiones de ráfagas de audio y/o video en conexiones sin cable, entre la fuente de información y el transductor que entrega la información al órgano del sentido destino (audífonos, micrófonos, *displays*...) Según de la calidad y cantidad de información a transmitir se puede decir que se necesitan anchos de banda considerables. En general, la transmisión puede hacerse de manera unidireccional, un canal de retorno sólo es lógico cuando se desea hacer control de flujo o servicios adicionales sobre la transmisión de multimedia. Es posible tener algunas aplicaciones con multicasting.

Este tipo de sucesos es viable cuando una persona desea compartir con otras su música, su información y/o sus videos.

**Intercambio y sincronización de información:** El proceso de intercambio corresponde al envío de información bidireccionalmente. Dentro de este tipo de aplicaciones se consideran los escenarios como compartir los archivos de datos, música y video entre dos dispositivos o más. La transmisión se realiza directamente, sin emplear un tercer elemento de red, como por ejemplo sincronizar el mp3, mp4, PDA, la cámara fotográfica o de video o PC móvil, con la estación de trabajo en la oficina o el hogar, sin necesidad de conectar cables. También se considera para actividades de automatización en un ambiente de domótica en el hogar, ofmótico en la oficina e industria, y en los servicios personalizados concebidos para los servicios y aplicativos de las ciudades digitales.

## Conclusiones

Las redes de área corporal son tendencias tecnológicas que le brindarán al ser humano una gran variedad de nuevas ventajas, mejorarán la calidad de vida y permitirán el avance de la medicina y de la domótica, automatización en el trabajo y nuevos horizontes en el entretenimiento.

Definitivamente las aplicaciones médicas son el núcleo actual del desarrollo de las tecnologías de área corporal. La posibilidad de interactuar con el sistema nervioso central del ser humano no está lejos y la gran cantidad de beneficios que traerá el buen aprovechamiento de este tipo de conocimientos incrementará la calidad de vida de los pacientes, en temas como prótesis y reemplazo artificial de órganos de los sentidos y extremidades corporales. En el ámbito del diagnóstico se mejorará la precisión de los exámenes y se incrementará notablemente la efectividad de las cirugías y tratamientos médicos para reducir los efectos colaterales.

El reto más grande que existe a nivel de canal en las redes de área corporal consiste en compensar los efectos dinámicos que introduce el cuerpo humano sobre las transmisiones electromagnéticas de los dispositivos tecnológicos. El hecho de que el cuerpo humano sea dinámico -permanezca en constante movimiento- hace muy complicado diseñar un modelo de canal que considere todos los aspectos para cualquiera de los casos de aplicación. Lo más seguro es que en un futuro cercano va a haber una gran cantidad de modelos de canal, en su mayoría de carácter estadístico, que serán particularizados para cada tipo de aplicación, en los cuales se emplee algún tipo de tecnología de red de área corporal en particular. Es poco probable encontrar un modelo de canal unificado que brinde todas las características que hay que tomar en cuenta para las aplicaciones de redes de área corporal inalámbricas.

La tendencia en dispositivos es reducir la complejidad estructural y funcional de los circuitos para establecer las comunicaciones, y desarrollar antenas lo suficientemente



versátiles que operen en los ambientes de redes de área corporal invasivos (como prótesis y otros tipos de elementos). El tipo de redes enmalladas que van a ser empleados en un futuro cercano, serán redes de no más de una docena de elementos. Las redes con cientos de dispositivos en operación no tiene mucho sentido, desde el punto de vista de operabilidad, escalabilidad y rendimiento de la red. Los elementos periféricos serán más cercanos a ser redes de sensores distribuidas que operan con un nodo central inteligente, y la tendencia es concentrar dicho nodo central en un dispositivo universal, muy seguramente un teléfono móvil, con capacidades de acceso a otro tipo de redes LAN y WAN.

Las bandas de operación de las redes de área corporal serán, básicamente, las bandas no licenciadas. Las definiciones tecnológicas candidatas para ser empleadas son UWB definida por IEEE 802.15.4a y MB OFDM. El uso de MIMO no tendrá mucho sentido dada la corta distancia, a menos que se empleen bandas de operación de muy alta frecuencia, como por ejemplo las aplicaciones de 60GHz, en donde el nivel de penetración es muy bajo, y la directividad que se puede obtener es muy alta. **ST**

## Referencias bibliográficas

1. Betancur, Leonardo Cardona, Narcis Navarro, Andres Traver, Lara (2009), A statistical channel model for on body Area networks in Ultra Wide Band Communications. LATINCOM. IEEE Latin-American Conference on Communications. ISBN: 978-1-4244-4387-1 pp. 1 - 6.
2. Cassidy, A.; Zhang, Z. Andreou, A. (2008) Impulse Radio Address Event Interconnects for body area networks and neural prostheses. Argentine School of Micro-Nanoelectronics: Technology and Applications, pp. 87-92
3. Chang, W; Tarng, J. Peng, S. (2008) Frequency-Space-Polarization on UWB MIMO Performance for Body Area Network Applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 7, pp. 577-580
4. Chao, Y. and Scholtz, R. A. (2005) Ultra-wideband Transmitted Reference Systems, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 54, pp. 1556-1569.
5. Chen, Y. and Beaulieu, N. (2007) SNR estimation methods for UWB systems, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 10, pp. 3836-3845
6. Chen, Y.; Teo, J.; Lai, J.; Gunawan, E.; Low, K. S.; Soh, C. B. Rapajic, P. (2009) Cooperative Communications in Ultra-Wideband Wireless Body Area Networks: Channel Modeling and System Diversity Analysis. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 27, pp. 5-16
7. Chong, C.-C. and Yong, S. (2005) A generic statistical-based UWB channel model for high-rise apartments, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 8, pp. 2389-2399.
8. D'Errico, R. Ouvry, L. (2009) Time-variant BAN channel characterization. COST 2100. CEA-LETI. TD(09)879.
9. Domenicali, D. Benedetto, M. D. (2007). Performance Analysis for a Body Area Network composed of IEEE 802.15.4a devices. 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. WPNC, pp. 273-276

10. Federal Communications Commission, USA. (2002) Revision of Part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems, first report and order. s.l. : ET-Docket.
11. Fort, A.; Ryckaert, J.; Desset, C.; Doncker, P. D.; Wambacq, P. Biesen, L. V. (2006) Ultra-wideband channel model for communication around the human body IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, pp. 927-933
12. Goeckel, D. and Zhang, Q. (2007) Slightly Frequency-Shifted Reference Ultra-Wideband (UWB) Radio, IEEE Trans. Commun., vol. 55, no. 3, pp.508-519.
13. Gorce, J. M.; Goursaud, C.; Savigny, C. Villemaud, G. (2009) Cooperation mechanisms in BANs COST 2100. University of Lyon, TD(09)862.
14. Goulianos, A. A. Stavrou, S (2007). UWB Path Arrival Times in Body Area Networks IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 6, pp. 223-226
15. Gray, R. M. and Davisson, L. D. (2005) An Introduction to Statistical Signal Processing. Cambridge University Press.
16. Gupta, A. Abhayapala, T. D. (2008) Body Area Networks: Radio channel modelling and propagation characteristics. Australian Communications Theory Workshop. AusCTW, pp. 58-63
17. Hardle, W. and Simar, L. (2003) Applied multivariate statistical analysis. Metrika.
18. Heavens, O. S. (1965) Optical Properties of Thin Film Solids. New York, Dover.
19. (October 2009) IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 (TG6): Body Area Networks, IEEE standarization working Group, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
20. Jianqi, T.; Chan, S. W.; Chen, Y.; Gunawan, E.; Low, K. S. Soh, C. B.(2007) Time domain measurements for UWB on-body radio propagation. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 325-328
21. Jurik, A. D. Weaver, A. C. (2008) Remote Medical Monitoring Computer, pp. 96-99
22. Katayama, N.; Takizawa, K.; Aoyagi, T.; Takada, J.; Li, H. Kohno, R. (2008) Channel model on various frequency bands for wearable Body Area Network. First International Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies. ISABEL, pp. 1-5
23. Kovacs, I.; Pedersen, G.; Eggers, P. Olesen, K. (2004) Ultra wideband radio propagation in body area network scenarios. IEEE Eighth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, pp.102-106
24. Li, H.; Takizawa, K. I.; Zheri, B. Kohno, R. (2007) Body Area Network and Its Standardization at IEEE 802.15. MBAN. 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, vol. 1, pp. 1-5
25. Liu, L.; Doncker, P. D. Oestges, C. (2008) Fading Correlation Measurement and Modeling on the Front and Back side of a Human Body. COST 2100, UCL and UBL, TD(08)642.
26. Manzoor, R. Majavu, W. Jeoti, V. Kamel, N. and Asif, M. (2007) Front-end estimation of noise power and SNR in OFDM systems, in International Conference on Intelligent and Advanced Systems. ICIAS, pp. 435-439.
27. Molisch, A. F. ; Balakrishnan, K. ; Cassioli, D.; Chong, C.-C.; Emami, S.; Fort, A.; Karedal, J.; Kunisch, J.; Schantz, H. and Siwiak, U. S. K. (2004) IEEE 802.15.4a channel model- final report, IEEE 802.15.4a.
28. Molisch, A.(2005)Ultrawideband propagation channels-theory, measurement, and modeling, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, pp. 1528-1545
29. Motani, M.; Yap, K.; Natarajan, A.; de Silva, B.; Hu, S. Chua, K. C. (2007) Network Characteristics of Urban Environments for Wireless BAN. IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference. BIOCAS, vol.1, pp.179-182

30. Monton, E.; Hernandez, J. F.; Blasco, J. M.; Herve, T.; Micallef, J.; Grech, I.; Brincat, A. Traver, V. (2008) Body area network for wireless patient monitoring. *IET Communications*, vol. 2, pp. 215-222
31. Oliveira, C.; Pedrosa, L. Rocha, R. M. (2008) Characterizing On-Body Wireless Sensor Networks New Technologies, Mobility and Security. *NTMS*, pp. 1-6
32. Olugbara, O.; Adigun, M.; Ojo, S. Mudali, P. (2007) Utility Gris Computing and Body Area Network as Enabler for Ubiquitous Rural e-Healthcare Service Provisioning 9th International Conference on e-Health Networking, Application and Services, pp. 202-207
33. Ohno, K.; Watanabe, K.; Yamada, T.; Kobayashi, T.; Matsuda, H.; Yamazaki, N. Ikegami, T. (2008) Wideband Measurement for Body Effect of BAN Channel IEEE 10th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications. *ISSSTA*, pp. 292-296
34. Rappaport, T. (1996) *Wireless Communications: Principles and Practice*, 1st ed. Prentice Hall.
35. Reddy, P. Ganapathy, V. (2008) Performance of multi user detector based receivers for UWB body area Networks. 10th International Conference on e-health Networking, Applications and Services. *HealthCom*, pp. 227-231
36. Roy, S. V.; Oestges, C.; Horlin, F. Doncker, P. D. (2007) Ultra-Wideband Spatial Channel Characterization for Body Area Networks The Second European Conference on Antennas and Propagation, *EuCAP*, pp. 1-5
37. Ruiz, J.; Xu, J. Shimamoto, S. (2006) Propagation characteristics of intra-body communications for body area networks Consumer Communications and Networking Conference, *CCNC 2006*. 3rd IEEE, vol. 1, pp. 509-513
38. Saleh, A. and Valenzuela, R. (1987) A statistical model for indoor multipath propagation, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 5, no. 2, pp. 128-137.
39. Simic, D.; Jordan, A.; Tao, R.; Gungl, N.; Simic, J.; Lang, M.; Ngo, L. V. Brankovic, V. (2007) Impulse UWB Radio System Architecture for Body Area Networks 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, pp. 1-5
40. Smulders, P. (2009) Statistical Characterization of 60-GHz Indoor Radio Channels, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 2820-2829
41. Socheleau, F-X. Aissa-El-Bey, A. and Houcke, S. (2008) Non dataaided SNR estimation of OFDM signals, *IEEE Communications Letters*, vol. 12, no. 11, pp. 813-815.
42. Takada, J.; Aoyagi, T.; Takizawa, K.; Katayama, N.; Kobayashi, T.; Yazdandoost, K. Y.; Li, H. Kohno, R. (2008) Static Propagation and Channel Models in Body Area. *COST 2100, U. Tokyo, TD(08)639*
43. Tayamachi, T.; Wang, Q. Wang, J. (2007) Transmission Characteristic Analysis for UWB Body Area Communications. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, *EMC*, pp. 75-78
44. Tesi, R.; Taparugssanagorn, A.; H'am'al'ainen, M.; Liu, Iinatti, J. (2008) UWB Channel Measurements for Wireless Body Area Networks. *COST 2100, Oulu Finland, TD(08)649*
45. Timmons, N. Scanlon, W. (2004) Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking. First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. *SECON*, pp. 16-24
46. Thompson, W.; Walker, K.; Cepeda, R.; Beach, M. A. Armour, S. (2008) Ultra-Wideband Body Area Network Channel Measurement and Analysis using Textile Antennas *COST 2100, Bristol Toshiba, TD(08)629*
47. Watanabe, K.; Hari, S.; Ohnol, K. Ikegami, T. (2008) Experiments on Shadow Effects

- of Body and Effective Paths for UWB Transmission in BAN. International Symposium on Communications and Information Technologies. ISCIT, pp. 232-237
48. Xu, H. Yang, L. (2008) Ultra-wideband technology: Yesterday, today, and tomorrow IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 715-718
  49. Yazdandoost, K. Y. Kohno, R. (2009) An Antenna for Medical Implant Communications System COST 2100. Medical ICT Institute, National Institute of Information and Communications Technology. New Generation Wireless Communications Research Center. TD(09)808.
  50. Yoo, H. Cho, N. (2008) Body channel communication for low energy BSN/BAN. IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems. APCCAS, pp. 7-11
  51. Zasowski, T. Wittneben, A. (2009) Performance of UWB Receivers with Partial CSI Using a Simple Body Area Network Channel Model. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 27, pp. 17-26
  52. Zasowski, T.; Meyer, G.; Althaus, F. Wittneben, A. (2006) UWB signal propagation at the human head. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 54, pp.1836-1845
  53. Zasowski, T.; Althaus, F.; Stager, M.; Wittneben, A. Troster, G. (2003) UWB for noninvasive wireless body area networks: channel measurements and results. IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, vol 1, pp. 285-289
  54. Zimmerman, T. G. (1995) Personal Area Networks (PAN): Near-Field Intra Body Communication. M.S. Thesis, Media Laboratory, MIT, USA.
- .....

## **Currículum vitae**

### **Leonardo Betancur, Ph.D.**

Nació en la ciudad de Manizales (Colombia) en 1980. Obtiene su título de ingeniero electrónico en la Universidad Nacional de Colombia en 2003 y el de Doctor en Ingeniería Área Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana en 2010, en donde actualmente es docente investigador de la facultad de Telecomunicaciones e Informática. Dentro de los intereses de investigación se encuentran modelos de propagación en canales inalámbricos, estimación de canal, OFDM, Ultra Wide Band y Redes de área personal.