

SDR: La alternativa para la evolución inalámbrica a nivel físico

Ing. Alexander Galvis Quintero, *IEEE Graduate Student Member*, Christian A. Ceballos Betancour, Lukas De Sanctis Gil
Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI) - GIDATI
Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín

Resumen—El presente artículo detalla de manera general la propuesta de un proyecto desarrollado en el marco de trabajo del Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática (GIDATI) de la Universidad Pontificia Bolivariana. La primera fase del proyecto consiste en la revisión del concepto Software Defined Radio (SDR) y en la construcción de un prototipo demostrativo de la tecnología. La segunda fase corresponde a la profundización en la temática considerando aspectos evolutivos del concepto y de la tecnología SDR, y en la construcción de un prototipo de radio más sofisticado basado en dicho concepto. No obstante, el artículo también tiene un fin divulgativo de la tecnología, por lo que se aborda la temática teniendo en cuenta aspectos que van desde el concepto y su arquitectura hasta el mercado existente para SDR, mostrando así el panorama global en el cual se encuentra enmarcado el proyecto.

Palabras clave: SDR, software radio, radio reconfigurable, coexistencia, FPGA, DSP.

Abstract— This article details of general way a project proposal developed within the framework of the Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática (GIDATI) at the Universidad Pontificia Bolivariana. First stage of the project consists on the review of Software Defined Radio (SDR) concept and on the construction of a demonstrative prototype of the technology. The second phase corresponds to the deepening in the thematic considering evolutionary aspects of the SDR concept and technology, and on the construction of a more sophisticated radio prototype based on this concept. However, the article also has a divulging aim of the technology, reason why the thematic is approached considering aspects going from the concept and its architecture until the existing market for SDR, showing therefore the global environment that frame the project.

Key words: SDR, software radio, reconfigurable radio, coexistence, FPGA, DSP.

I. INTRODUCCIÓN

El término “Software Radio” fue acuñado por Joe Mitola en 1.991 para referirse a un tipo de radios reprogramables o reconfigurables [1]. En otras palabras, una misma pieza de hardware puede realizar diferentes funciones en distintos instantes de tiempo con la introducción de cambios en su configuración mediante software. Se define entonces SDR¹ como un radio sustancialmente definido en software y cuyo comportamiento en capa física puede ser significativamente alterado a través de cambios en dicho software, lo que claramente constituye una ventaja significativa y un motivo de peso para que se piense en la realización de esfuerzos a nivel de investigación y desarrollo orientados a hacer de SDR una tecnología comercialmente viable para soportar otros adelantos como la interoperabilidad, la coexistencia, el MIH² y la convergencia desde capa física. Particularmente MIH (en estandarización por el Grupo de Trabajo 802.21 del IEEE³) requiere que en capa física haya una tecnología capaz de soportar los cambios dinámicos impuestos por las capas superiores, y la que mejor satisface estos requerimientos es SDR, pero aunque tiene ya más de 10 años, las implementaciones comerciales de esta tecnología apenas empiezan a ser consideradas debido a los costos de los componentes y a la capacidad de éstos.

A pesar de que internacionalmente se está trabajando de manera intensiva en SDR y en su evolución, lastimosamente es una tecnología que ha sido abordada por muy pocos investigadores a nivel nacional, lo que claramente debe ser remediado considerando las implicaciones y el impacto que a nivel técnico y comercial tendrá la implementación de este tipo de tecnologías en dispositivos que se ofrecen al usuario final. Es necesario entonces iniciar un proceso que permita conocer la tecnología SDR y mostrarla a la comunidad académica/científica nacional con el objetivo de motivar al planteamiento de nuevas aproximaciones y lograr un aporte significativo a la evolución de sistemas y redes inalámbricas en el país. En este orden de ideas, cabe preguntarse: ¿Qué tecnología de capa física es la principal candidata para soportar interoperabilidad y coexistencia inalámbrica?, ¿Qué es SDR?, ¿Qué limitaciones y ventajas tiene su implementación comercial?, ¿Qué orientaciones han sido propuestas por los grupos de trabajo?, ¿Qué soluciones se encuentran disponibles, cómo funcionan, y cómo podrían mejorarse?, y finalmente ¿Cómo motivar a la comunidad académica/científica nacional para la investigación en el tema?

Considerando entonces lo anterior, se está desarrollando un proyecto titulado “*Software Defined Radio: Revisión del concepto e implementación práctica demostrativa*” al interior del Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI), adjunto al Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e

¹ SDR: Software Defined Radio

² MIH: Media Independent Handover

³ IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

Informática (GIDATI) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), mediante el cual se hace una primera aproximación al concepto SDR realizando una descripción de sus aspectos técnicos funcionales como tecnología de capa física y desarrollando – a manera de demostración – una implementación software/hardware. Esta demo y la base de conocimiento que dejará el proyecto permitirán responder en gran medida los interrogantes que se han planteado y posibilitarán la realización de propuestas para futuros trabajos que profundicen en la temática.

II. ANTECEDENTES

Durante el proceso de evolución de las telecomunicaciones inalámbricas se han generado gran cantidad de tecnologías que tienen como objetivo facilitar y optimizar el intercambio de información entre entidades geográficamente dispersas, pero las mismas diferencias técnicas crean incompatibilidades entre los estándares desarrollados y los equipos relacionados, complicando aspectos que van desde la prestación de servicios como el *roaming*, hasta la actualización y reemplazo de tecnologías a bajo costo. El concepto SDR surge para solucionar parcialmente estos inconvenientes de compatibilidad e interoperabilidad, ya que define un conjunto de procedimientos y técnicas orientadas a realizar el procesamiento de señales de información por medio de un dispositivo de propósito general, el cual puede ser modificado mediante software logrando así un cambio dinámico, automático y eficiente entre tecnologías sin tener que incurrir en gastos/costos por concepto de nuevos equipos y evitando incrementos considerables en el tamaño de éstos.

La primera implementación conocida del concepto SDR fue en el proyecto militar estadounidense SpeakEasy [2], cuyo objetivo principal era implementar más de 10 tipos de tecnologías de comunicaciones inalámbricas – que en el momento eran las más usadas por las Fuerzas Armadas de Estados Unidos – en un equipo programable, el cual operaría en una banda de frecuencias desde los 2MHz hasta los 200MHz. Un objetivo adicional del proyecto era que el prototipo debía tener la posibilidad de actualizar su código para que así se pudieran tener en cuenta los estándares futuros. Dicho proyecto empezó en 1991 y solo en 1995 fue posible lograr todos los objetivos planteados. Sin embargo hubo cierto descontento debido a que sólo se podía mantener una comunicación a la vez, por lo cual se modificaron sus alcances llevándolo así a una segunda fase en la cual se trabajarían aspectos como disminución de peso y costo, incremento en su capacidad de procesamiento, simultaneidad de comunicaciones, diseño basado en arquitecturas de software libre, entre otros. La nueva fase del proyecto sólo necesito 15 meses para lograr sus objetivos, obteniendo así importantes resultados que llevaron a la producción del dispositivo diseñado, el cual trabajó en el rango de 4MHz a 400MHz.

SpeakEasy es el primer proyecto que se conoce que haya trabajado con FPGA⁴ para procesamiento de datos digitales radiados, pero en la actualidad SDR es una tecnología que ha tomando gran auge en el mundo y sobre la cual se pueden encontrar diferentes investigaciones y desarrollos, como por ejemplo implementaciones de SDR usando DSP⁵ descritos en la tesis “*Demonstration of the Software Radio Concept*” de la Universidad de Twente [3], la implementación realizada por Gerald Youngblood de SDR para radio aficionados usando la tarjeta de sonido de un computador personal [4], kits de desarrollo de SDR como el SoftRock-40⁶ que trabaja con el software libre PowerSDR de la empresa FlexRadio, y proyectos como el del VirginiaTech [6], entre muchos otros. En México y Brasil también se conocen algunos desarrollos realizados y primeras aproximaciones. En [1], el autor presenta una completa lista de proyectos internacionales – organizada por país – que han sido o están siendo ejecutados alrededor de SDR.

En cuanto a Colombia, hasta el momento se conocen muy pocos estudios, usos o avances en dicha tecnología, o al menos no han sido divulgados por ninguna empresa o institución. En el 2001, el Doctor Humberto Campanella Pineda de la Universidad del Norte desarrolló un curso corto titulado “Demodulador QPSK utilizando técnicas de software radio”. La Universidad del Valle y la UPB han realizado importantes implementaciones utilizando dispositivos DSP y FPGA, al igual que la Universidad del Cauca, pero ninguno de ellos orientado a aplicaciones de radiocomunicaciones.

A. El SDR Forum

El SDR Forum es un foro para la investigación y desarrollo mundial en SDR⁷ compuesto por más de 100 empresas, instituciones y organizaciones (Altera, Xilinx, NASA, VirginiaTech, Toshiba, Samsung, Lockheed, Motorola, QUALCOMM, Hitachi, Ohio Aerospace Institute, entre otras), cuyo objetivo es promocionar el uso de SDR desarrollando estándares y especificaciones del mismo, logrando así la divulgación de dicha tecnología para soportar necesidades tanto militares y civiles como comerciales. Para lograr dicho propósito, el SDR Forum prepara una serie de eventos periódicos en los que se presentan productos, avances y estándares que proponen las empresas inscritas en él con respecto al tema mencionado. Adicionalmente, el SDR Forum tiene un sitio Web en el cual publica noticias y muchos de los aportes que han hecho las empresas asociadas a éste, además de gran cantidad de documentos relacionados que pueden ser descargados por cualquier usuario y otros sólo están disponibles para miembros de la organización.

⁴ **FPGA:** Field Programmable Gate Array

⁵ **DSP:** Digital Signal Processing

⁶ Más información en <http://www.amqrp.org/kits/softrock40/>

⁷ Más información en <http://www.sdrforum.org>

III. EL CONCEPTO SDR

El concepto SDR ha ido evolucionando con los años, pero los avances conseguidos han partido esencialmente de la misma configuración básica que se muestra en la Fig. 1, la cual se compone de tres bloques funcionales: sección de RF⁸, sección de IF⁹ y sección Banda Base [7], de las cuales RF casi siempre trabaja con hardware analógico mientras que las secciones de IF y Banda Base se implementan con módulos hardware digitales.

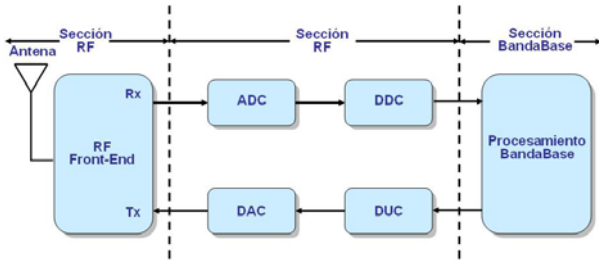


Fig. 1. Diagrama de bloques funcionales de SDR [7].

A. Bloques funcionales de SDR

La sección de RF – también llamada *RF Front-End* – es la responsable de transmitir/recibir las señales de radio frecuencia para adecuarlas y convertirlas en frecuencias intermedias – en el caso de la recepción – o amplificar y modular las señales de IF adecuándolas para la transmisión en el aire – en el caso de la transmisión –.

La sección de IF es la encargada de pasar la señal de IF a banda base y digitalizarla – en el caso de la recepción – o pasar la señal de banda base a IF y hacer la conversión digital-analógica de la señal – en el caso de la transmisión –. Las encargadas de la conversión analógica-digital o digital-analógica de la señal son los módulos ADC/DAC¹⁰. Los módulos DDC/DUC¹¹ son los encargados de bajar digitalmente la señal de IF a Banda Base o subir de banda base a IF respectivamente.

La sección de Banda Base es la encargada de todo el procesamiento en banda base de la señal – como *frequency hopping*, establecimiento de sesión, ecualización, manejo de tiempos de bit, entre otros – y en algunos casos de la implementación de protocolos del nivel de enlace del modelo OSI¹².

En esta configuración de SDR los módulos DDC/DUC y la sección de banda base son los que más MIPS¹³ necesitan, motivo por el cual normalmente son implementados en dispositivos de propósito general.

Desde el punto de vista técnico, SDR es una buena alternativa para la integración y convergencia de tecnologías inalámbricas, y de hecho durante los últimos años ha sido estudiado y desarrollado con este objetivo, pero su implementación comercial aun impone ciertos retos de tipo económico, pues los costos aun son elevados debido a los componentes necesarios para la construcción de terminales que soporten esta tecnología. No obstante, se espera que en el corto plazo la tecnología evolucione lo suficiente como para que los estándares puedan adoptarlo y se le pueda brindar a éstos un verdadero soporte a nivel de capa física para la convergencia y la interoperabilidad, de hecho una evolución del concepto SDR – como lo es *cognitive radio* – realizará su primera aparición comercial en un estándar denominado WRAN¹⁴ que actualmente está en fase de desarrollo por el Grupo de Trabajo 802.22 del IEEE.

IV. ARQUITECTURA SDR

La Fig. 2 (página siguiente) presenta la arquitectura básica ideal y resumida de SDR. La parte analógica es la encargada de realizar todas aquellas operaciones que no pueden ser efectuadas en el dominio digital, como alimentación a la antena, filtrado y combinación en RF, preamplificación, amplificación, y generación de la frecuencia de referencia [5]. La idea de la arquitectura es que las etapas de conversión analógico/digital estén lo más cercanas posible a la antena, de hecho, la separación de portadoras y la conversión de frecuencias up/down son desempeñadas por los recursos de procesamiento digital, al igual que la codificación de canal y las modulaciones.

El software del sistema está estratificado en capas de la misma manera que sucede en muchas otras arquitecturas, con el objetivo de hacerlo modular y adaptable al hardware sobre el cual operará. No obstante, la tendencia es a que dicha arquitectura de software esté basada completamente en objetos, de tal manera que el hardware pueda ser de alguna manera “*mapeado*” a estos objetos para proporcionar servicios de comunicación entre capas utilizando interfaces estándar [5]. Esta tendencia es la que explica por qué CORBA¹⁵ aparece dentro de esta arquitectura, aunque éste como tal no es tema del presente artículo. El resto de componentes software son los comunes a los equipos terminales y a los equipos de transmisión e interconexión (sistemas operativos, las API¹⁶, controladores, entre otros), que facilitan el desarrollo de aplicaciones por parte de los programadores.

El hardware existente dentro del subsistema digital es el encargado de proporcionar toda la flexibilidad y reconfigurabilidad al radio. Normalmente este hardware está constituido por dispositivos DSP, pero cada vez son más frecuentes las implementaciones que combinan DSP

⁸ RF: Radio Frequency

⁹ IF: Intermediate Frequency

¹⁰ ADC/DAC: Analog to Digital Conversion / Digital to Analog Conversion

¹¹ DDC /DUC: Digital Down Conversion / Digital Up Conversion

¹² OSI: Open Standard Interconnection

¹³ MIPS: Million of Instructions Per Second

¹⁴ WRAN: Wireless Regional Area Network

¹⁵ CORBA: Common Object Request Broker Architecture

¹⁶ API: Application Programming Interface

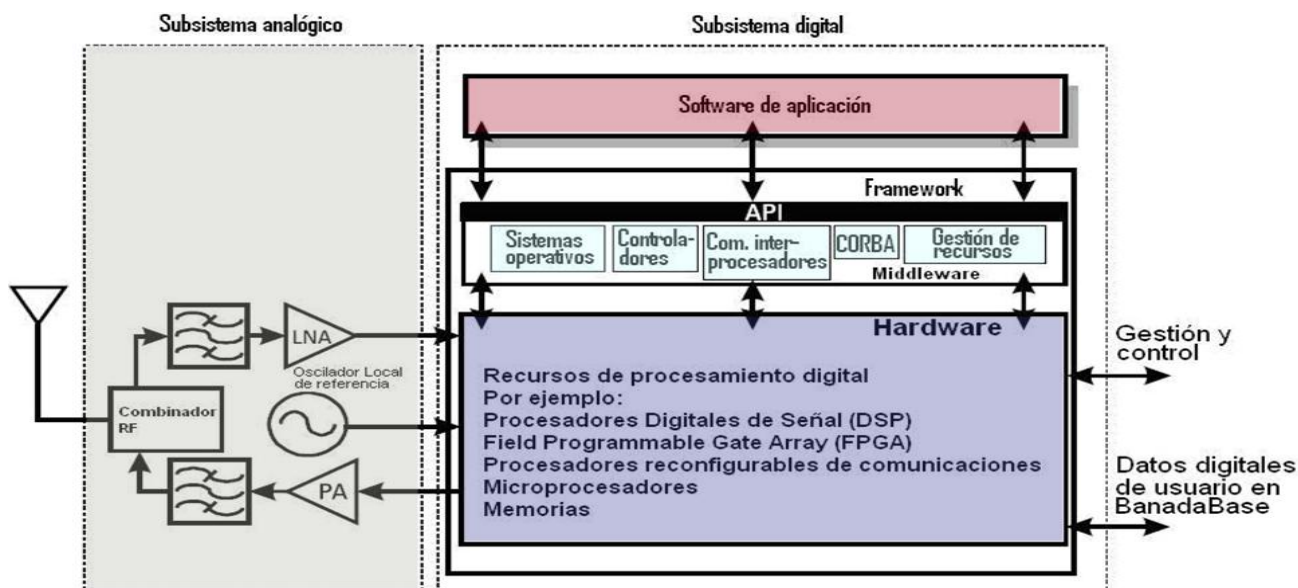


Fig. 2. SDR ideal con software y hardware en capas [5].

con FPGA y ASIC¹⁷ para el desarrollo de las diversas funciones que desempeña este subsistema, para las cuales cada tipo de dispositivo ofrece ventajas y desventajas significativas en su elección como plataforma hardware de implementación. Algunos autores, como Mitola [8] – considerado el padre de SDR –, diferencian dos tipos de soporte software, denominados software *on-line* y software *off-line*. En términos generales el software *on-line* es aquel encargado de proporcionar a los equipos la capacidad para realizar las operaciones y funciones básicas que son ejecutadas frecuentemente (intervalos de segundos o minutos), proporcionando reconfigurabilidad; mientras que el software *off-line* es el encargado de soportar aquellas funciones que se ejecutan con poca frecuencia (intervalos de horas, días o semanas), proporcionando flexibilidad al sistema para actualizaciones que permitan prestar nuevos servicios o mejorar los existentes sin necesidad de cambiar los equipos [8]. La configuración/reconfiguración del hardware presente en el subsistema digital se realiza utilizando software, que de cualquier manera constituye código; este software es desarrollado utilizando diversas metodologías y usando herramientas para escritura de código y simulación de sistemas para efectos de pruebas y validación de los componentes desarrollados. Normalmente el lenguaje de escritura es VHDL¹⁸ o un análogo.

No obstante, la arquitectura presentada en la Fig. 2 se llama “ideal” porque solo es comercialmente aplicable en casos en los cuales las tasas de transmisión son bajas y se trabaja en bandas HF/VHF¹⁹ [8], pero se vuelve poco

práctica para otro tipo de sistemas modernos como los desarrollados para acceso fijo y móvil de banda ancha, sistemas celulares de tercera generación, y redes inalámbricas de área regional. Aun así y debido a su simplicidad, esta arquitectura será la utilizada como referencia para el desarrollo del prototipo al interior de presente proyecto, pero es claro que para las aplicaciones comerciales que se requieren en la actualidad, tanto el concepto como la arquitectura SDR ha tenido que evolucionar considerablemente.

A. Ventajas, problemas y desventajas de los sistemas de comunicaciones basados en SDR

Ya se ha mencionado que las ventajas que estas arquitecturas involucran – especialmente para los operadores y proveedores de servicios – van desde facilidades para el *roaming* global hasta la versatilidad del software para proporcionar nuevos y mejores servicios sin necesidad de cambiar los terminales u otros equipos relacionados. Desde otros puntos de vista, como el ecológico por ejemplo, se puede ver que los residuos industriales se verán reducidos considerando que SDR “elimina” hardware. Desde el punto de vista legal, muchos aspectos regulatorios también pueden verse facilitados, especialmente la certificación de terminales teniendo en cuenta que es sólo el software lo que debe certificarse [1]. Para los usuarios finales hay también muchas ventajas relacionadas con la calidad de los servicios de soporte por parte de los operadores, ya que las actualizaciones, corrección de *bugs*, adición de servicios y seguimiento a los usuarios, se realizarán de manera más eficiente. Sin embargo, hay ciertos problemas relacionados con la implementación actual de estas tecnologías [1]:

- El volumen de software descargado para los dispositivos reconfigurables es cada vez mayor y

¹⁷ ASIC: Application Specific Integrated Circuit

¹⁸ VHDL=VHSIC HDL: Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language

¹⁹ HF/VHF: High Frequency / Very High Frequency

exige complejidad en los componentes, y como primera consecuencia los tiempos de descarga aumentan considerablemente.

- El tiempo de configuración de los dispositivos hardware también aumenta con la complejidad.
- Los procesos de estandarización van a un ritmo más lento que los procesos de investigación y desarrollo.
- El hecho de que el sistema de radio esté basado en software aumenta la vulnerabilidad de los sistemas frente a virus y otras amenazas.
- Apenas se están empezando a considerar aspectos como métodos de gestión para varias unidades SDR en un mismo terminal, y terminales de múltiples antenas ajustadas para cada tecnología/modo específico, los cuales pueden ser requerimientos de los usuarios y del mercado en general.

Finalmente, gran parte del futuro que tiene SDR depende de los avances que se den en otros campos como la microelectrónica, especialmente en términos de miniaturización, incremento en la capacidad, reducción en consumo de potencia, y modularidad de componentes, así como de factores regulatorios y comerciales que normalmente difieren de un país a otro y afectan de manera distinta a cada segmento del mercado.

V. PLATAFORMAS HARDWARE PARA IMPLEMENTACIÓN

Para realizar el procesamiento de las señales basándose en software existen diversas alternativas diferenciadas principalmente por dos parámetros: consumo de potencia y costo [9]; aunque el tamaño de los componentes también puede ser una variable importante a considerar en ciertas aplicaciones. Especialmente el factor costo es bastante polifacético, pues es percibido de manera diferente por los operadores y por los usuarios, y no siempre la valoración del costo se resume a considerar el “precio” del dispositivo sobre el cual se ejecutará el código. Kenington [9] presenta algunos de los factores más determinantes en el costo de los elementos digitales de un sistema SDR:

- El costo directo de los dispositivos en sí mismos.
- El costo asociado a los componentes adicionales y complementarios.
- Costos no recurrentes (asociados más con soluciones basadas en ASIC).
- Inversiones en herramientas y entrenamiento para el desarrollo.
- Costos relacionados con consumo de potencia, refrigeración y tecnologías de alimentación.

Tabla I. Comparación de alternativas hardware para SDR.

	Consumo de potencia	Tamaño	Costo	Campo actualizable	Evolución del chip	Herramientas
DSP de alta velocidad	Muy alta	Moderado	Moderado	Alto	Fácil	Muchas
Múltiples ASIC	Moderada	Grande	Alto	Ninguno	Difícil	Muchas
Hardware parametrizado	Alta	Bajo	Moderado	Medio	Moderada	Algunas
Lógica reconfigurable (FPGA)	Moderada	Bajo	Bajo	Alto	Fácil	Algunas

- El ciclo de vida del producto SDR y sus diferencias con el ciclo de vida de las aplicaciones/servicios sobre él implementadas.
- Grado de flexibilidad requerido.

Todos estos aspectos imponen retos a cada una de las tres opciones para la implementación física de SDR. El paradigma tradicional para funciones en banda base y de controladores está basado en procesadores de conjuntos simples de instrucciones optimizados para cómputo aritmético de alta velocidad, llamados DSP. También en otros dispositivos que manejan lógica basada en *hard-code* para realizar funciones muy específicas, llamados ASIC; o en procesadores de conjuntos simples de instrucciones optimizados para procesamiento de mensajes, llamados microcontroladores [10]. De esta manera, los actuales requerimientos de flexibilidad en el procesamiento multimodo y multibanda imponen serios retos a los esquemas de implementación física de SDR, y las cuatro alternativas para ello se resumen en la Tabla I (basada en [10]).



Fig. 3. Plataformas hardware para implementación de SDR [Fuentes: SBS y Xilinx].

A. DSP

DSP fue la primera tecnología en ser considerada para implementación de SDR, especialmente porque las aplicaciones militares en Estados Unidos tienen limitaciones bajas en cuanto a costo. Los DSP tienen la ventaja de dotar de amplia flexibilidad al sistema, con amplia gama de aplicaciones que se soporta en el fuerte *background* que existe en el desarrollo de software para este tipo de dispositivos. Adicionalmente, gozan de economías de escala por su amplia aplicación en otras áreas diferentes a las comunicaciones, pero por sus características de costo y procesamiento son más aptos para prototipado y primeros volúmenes de producción que para producción en serie de dispositivos orientados al usuario final. En el caso específico de SDR, los DSP se utilizan más en formas de procesamiento de señal computacionalmente menos intensivas que en aplicaciones *front-end* de alta velocidad [9].

B. ASIC

Contrario a lo que comúnmente se piensa, la implementación del concepto SDR sobre ASIC puede dotarse de flexibilidad a costos moderados [9]. La utilización de este tipo de dispositivos tiene, no obstante, el inconveniente de incrementar el tamaño de los equipos a medida que aumenta el número de “modos” o “estándares” que éste debe soportar, pues se debería implementar un ASIC para cada “servicio”, lo que indirectamente afecta también el costo [10].

C. FPGA

En el pasado, se utilizaron los FPGA para el prototipado rápido de dispositivos ASIC. Actualmente, las altas capacidades de reconfiguración dinámica que ofrecen los FPGA están siendo aprovechadas para dotar de amplia flexibilidad a las soluciones SDR. Estos dispositivos permiten optimizar espacio, consumo de potencia y facilidades de optimización/actualización, además de proporcionar lo necesario para cumplir el objetivo de contar con la disponibilidad de diversas interfaces de aire en los radios SDR.

Es claro entonces que actualmente y en el futuro cercano, la tendencia no es a realizar implementaciones que utilicen exclusivamente un solo tipo de dispositivos, sino que después de un concienzudo análisis de requerimientos para la solución particular, se determine la combinación óptima de componentes que garantice el logro de los objetivos planteados por el concepto SDR, por su arquitectura y por su propia evolución. Para el caso particular del proyecto, hasta el momento se ha determinado que la plataforma de implementación del prototipo SDR preliminar estará apoyada en FPGA, utilizando un Kit de desarrollo basado en el FPGA Virtex II® Pro XC2VP30 de la empresa Xilinx, Inc., proporcionado por ésta a través del *Xilinx University Program*.

VI. LAS APLICACIONES Y EL MERCADO

Por su propia filosofía, SDR es una tecnología que tiene y tendrá múltiples aplicaciones, las cuales incluyen nuevos terminales para soportar servicios avanzados de comunicaciones, infraestructura de comunicaciones (estaciones base principalmente), soporte a tecnologías de acceso radio banda ancha (celular, WiMedia, MobileFi, WRAN, WiMAX), entre otras, tanto en entornos privados como públicos (educación, ocio, emergencias, milicia, trabajo, etc.) [1]. En el 2004, la mayoría de las aplicaciones de SDR eran de tipo militar considerando los altos costos en su implementación, de hecho, el 76,5% de todas las aplicaciones correspondían a milicia, el 7,1% a infraestructura inalámbrica comercial, y el 16,4% a otro tipo de aplicaciones [11], pero se espera que los avances en microelectrónica y en plataformas de desarrollo de software para SDR, así como su inclusión como alternativa para la construcción de la capa física de

los estándares de redes modernas, reduzcan los costos en su implementación y aumenten el volumen de aplicaciones comerciales en el futuro cercano. En la actualidad, se estima que el mercado de SDR para el 2007 sobrepasa los 5,3 billones de dólares de los cuales 335 millones corresponderán a venta de procesadores banda base para SDR.

Los principales direccionadores del mercado son [11]: las demandas de los clientes por flexibilidad y actualización, demandas por interoperabilidad (MIH y WRAN por ejemplo), crecimiento en necesidades, cambios en los costos de desarrollo y producción, y las características de los ciclos de vida de los productos. De igual manera, en [11] se identifican como inhibidores del mercado: la estructura actual de la industria y las necesidades del usuario, el alto costo que tienen las soluciones SDR hoy en día, algunas limitaciones técnicas, el conocimiento de dichas soluciones, y las limitaciones de éstas en cuanto a tamaño.

Teniendo en cuenta lo anterior, la cadena de valor inicialmente planteada para SDR está compuesta básicamente por tres entes principales: los vendedores de dispositivos y componentes base para SDR, los vendedores de infraestructura y equipos basados en SDR, y los usuarios [11]. No obstante, teniendo en cuenta que la mayoría de las tecnologías modernas están orientadas a datos y multimedia, tanto los desarrolladores de software base y de aplicaciones como los desarrolladores de contenido y operadores jugarán un papel importante como integrantes de dicha cadena de valor y en especial de los modelos de negocio que se formarán alrededor de SDR y sus evoluciones, para soportar servicios y características como MIH, coexistencia e interoperabilidad entre tecnologías/estándares (ver Fig. 4). Una vez el tema se torna ya tan comercial, entonces otro actor debe aparecer necesariamente: el regulador. Las tendencias en regulación no son muy variadas hasta la fecha, pues básicamente los entes que se han pronunciado al respecto son europeos y norteamericanos, y coinciden en muchos aspectos; pero es claro que también la regulación es un factor que determinará el éxito comercial de SDR y de las tecnologías relacionadas [12].

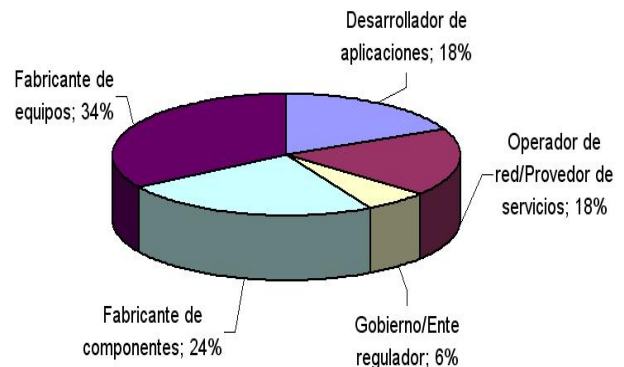


Fig. 4. Porcentajes de representación de los entes en la cadena de valor de SDR [12].

VII. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se ha planteado la metodología descrita en la Fig. 5.

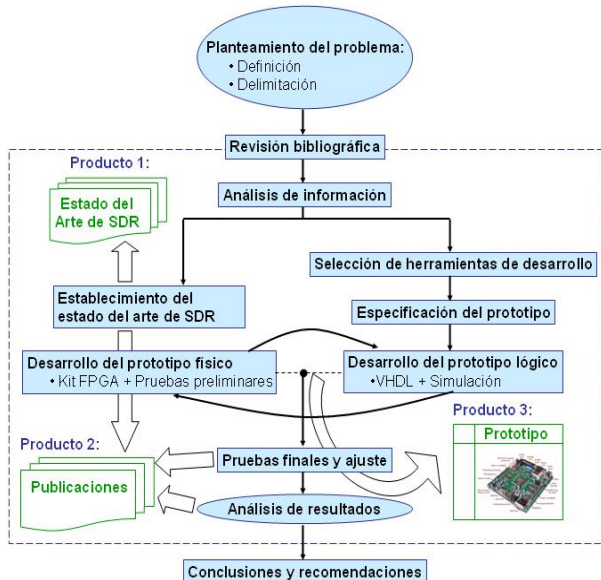


Fig. 5. Descripción de la metodología a utilizar en el desarrollo del proyecto al interior del STI.

A. Enfoques metodológicos

Para la fase de documentación y conceptualización se aplicará un diseño metodológico transversal exploratorio que permita llegar a las fuentes y extraer la información relevante.

En la fase de descripción de la tecnología se empleará un diseño metodológico transversal descriptivo cuyos resultados sirvan de base para las implementaciones.

Para la creación del prototipo se aplicarán metodologías propias del desarrollo sobre dispositivos FPGA mediante VHDL.

B. Desarrollo metodológico

- Se ha realizado una revisión de la bibliografía y de las fuentes de información para conceptualizar sobre SDR. (Técnicas: Análisis de contenidos; Instrumentos: Guías para análisis de contenido).
- Descripción y modelamiento funcional de SDR. (Técnicas: Análisis descriptivo; Instrumentos: VHDL).
- Selección y adquisición de un kit básico para desarrollo en FPGA. (Técnicas: Comparativas; Instrumentos: Catálogos de productos).
- Implementación práctica demostrativa de SDR. (Técnicas: Construcción de prototipo; Instrumentos: Kit de desarrollo en FPGA).
- Pruebas y optimización del prototipo. (Técnicas: Análisis de resultados; Instrumentos: Kit de

desarrollo en FPGA y tablas para consignación de datos).

- Análisis de resultados y conclusiones. (Técnicas: Análisis estadístico de datos; Instrumentos: Software especializado).

Este proyecto fue presentado en el V Encuentro Regional de Semilleros de Investigación organizado por en NodoAntioquia y la RedCOLSI²⁰ (ver Fig. 6), y fue ganador del primer puesto en la modalidad de propuesta de investigación.



Fig. 6. Exposición del poster presentado en el V Encuentro Regional de Semilleros de Investigación. Caldas (Antioquia), abril 20 de 2006.

VIII. CONCLUSIONES

Un direccionador importante del mercado inalámbrico son los requerimientos de los usuarios, y éstos cada vez exigen mayor capacidad, flexibilidad y ubicuidad, de manera que puedan acceder a los servicios y contenidos independientemente del lugar, hora y red. Por otro lado, la proliferación de tecnologías inalámbricas está en constante aumento, lo que sumado a lo anterior hace que conceptos como interoperabilidad y coexistencia tomen un sentido más imperativo.

SDR es una tecnología que promete solucionar en gran medida los problemas actuales para lograr interoperabilidad y coexistencia, pero SDR es mucho más que software/hardware, pues implica un cambio drástico en paradigmas fuertemente sentados y en las estructuras industriales, comerciales y regulatorias existentes. Los avances tecnológicos, los procesos de estandarización, la regulación aplicada, y otras variables del mercado determinarán el éxito de SDR como solución a los problemas planteados.

En cuanto a las plataformas hardware para la implementación de SDR, es claro que se debe determinar

²⁰ RedCOLSI: Red Colombiana de Semilleros de Investigación (<http://www.redcolsi.org>)

la combinación adecuada de dispositivos DSP, ASIC y/o FPGA para cada caso particular, para cada tipo de equipo y para cada segmento del mercado objetivo. La arquitectura presentada es una arquitectura ideal que servirá como base para lograr los objetivos del proyecto en su primera fase, pero dicha arquitectura no es práctica para crear soluciones basadas en SDR que cumplan con los requerimientos de las tecnologías actuales.

Finalmente, se concluye que es necesario dar a conocer la tecnología en Colombia, e incentivar a que se generen procesos de investigación y desarrollo en el área, considerando que se cuenta con los recursos necesarios para realizar aportes interesantes y significativos en la temática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Ingeniero Mauricio Vanegas Hernández de la UPB por su disposición para colaborar en el desarrollo del proyecto. También a la empresa Xilinx, Inc. que ha realizado importantes aportes al proyecto a través del Xilinx University Program, al Mobile and Portable Research Group (MPRG) del VirginiaTech por facilitar material importante para iniciar el proyecto, y en general a todos aquellos que han colaborado en la formulación y ejecución de éste.

REFERENCIAS

- [1] H. Harada, R. Prasad. *Simulation and Software radio for mobile communications*. Artech House Publishers. Nueva York. 2002. 467p.
- [2] R. I. Lackey y D. W. Upmal. "SpeakEasy: The military Software Radio". IEEE Communications Magazine, Vol.33 No.5. Nueva York, mayo de 1995. p56-61.
- [3] R. Schiphorst. *Demonstration of the Software-Radio Concept*. Tesis de Maestría. Universidad de Twente, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Twente. 2000. 128p.
- [4] G. Youngblood. *A Software-Defined Radio for the Masses – Part I, II, III and IV*. Sixth Market, Inc. Austin. 2002 a 2003. Total 40p.
- [5] P. Burns. *Software Defined Radio for 3G*. Artech House Publishers. Nueva York. 2002. 300p.
- [6] W.B. Tranter, et al. *An overview of the VirginiaTech Program in Software Radios implemented with Reconfigurable Computing*. Presentación, Instituto Politécnico de Virginia y Universidad Estatal. Blacksburg. 1998. 20s.
(ver http://www.mprg.org/research/cognitive_radio/index.html).
- [7] N.N. "Software-Defined Radio: A technology overview". Wipro Technologies. 2002. 10p.
- [8] J. Mitola. *Software Radio Architecture: Object oriented approaches to wireless systems engineering*. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 2000. 561p.
- [9] P. B. Kenington. *RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio*. Artech House Publishers. Londres. 2005. 352p.
- [10] M. Cummings y S. Haruyama. "FPGA in the Software Defined radio". IEEE Communications Magazine, Vol.37 No.2. Nueva York, febrero de 1999. p108-112.
- [11] C. Hart. "Software Defined Radio (SDR): North American and European market demand analysis". Venture Development Corporation. Miami. 2004. 12p.
- [12] W. Tuttlebee. *Software Defined Radio: Origins, drivers and international perspectives*. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 2002. 369p.

Autores

Alexander Galvis Quintero [alexander.galvis@upb.edu.co] es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca (Popayán, 2005) y candidato a Magíster en Ingeniería con énfasis en Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana. Actualmente se desempeña como investigador y docente en dicha institución, además de coordinar el Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI) y ocupar el cargo de Vicepresidente de la Rama Estudiantil IEEE de la UPB. *Temas de interés*–Radiocomunicaciones, modelamiento de canales, Software Defined Radio, cognitive radio, coexistencia e interoperabilidad inalámbrica, simulación.

Christian Alberto Ceballos Betancour [ohjebus1@hotmail.com] es estudiante de X semestre de Ingeniería Electrónica en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín y es integrante activo del Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI) de la misma institución. Actualmente se encuentra desarrollando su trabajo de grado sobre Software Defined Radio. *Temas de interés*–SDR, FPGA, DSP, robótica, radiocomunicaciones.

Lukas De Sanctis Gil [lukasdesanctis@yahoo.com] es estudiante de X semestre de Ingeniería Electrónica en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín y es integrante activo del Semillero de Tecnologías Inalámbricas (STI) de la misma institución. Actualmente se encuentra desarrollando su trabajo de grado sobre Software Defined Radio. *Temas de interés*–SDR, FPGA, DSP, robótica, radiocomunicaciones.