

**METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL  
DISEÑO DE SISTEMAS EMBEBIDOS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

Carlos Iván Camargo Bareño

26 de abril de 2011

**METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL  
DISEÑO DE SISTEMAS EMBEBIDOS**

**AUTOR: C. Camargo**

**E-MAIL: [cicamargoba@unal.edu.co](mailto:cicamargoba@unal.edu.co)**

Universidad Nacional de Colombia  
<http://www.unal.edu.co>

Se garantiza el permiso para distribuir, y/o modificar este documento  
bajo los términos de la licencia Creative Commons CC BY-SA

Publicado por la Universidad Nacional de Colombia

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
1.0.1. Sistemas Embebidos. . . . .	6
1.0.2. ¿Por qué los Sistemas Embebidos? . . . . .	7
1.1. Estado de la Industria Electrónica en Colombia . . . . .	9
<b>2. Descripción de la Tesis</b>	<b>15</b>
2.1. Objetivos . . . . .	15
2.2. Hipótesis . . . . .	16
2.3. Metodología . . . . .	19
2.4. Actividades y Cronograma . . . . .	21
2.4.1. Actividades . . . . .	21
2.4.2. Cronograma . . . . .	22
2.5. Recursos . . . . .	23



# Capítulo 1

## Introducción

El gran avance de las técnicas de fabricación de circuitos integrados ha permitido que los sistemas digitales sean partes fundamentales de nuestra vida, aún sin darnos cuenta, diariamente interactuamos con ellos, facilitando las tareas cotidianas. Los niveles de integración actuales permiten construir sistemas cada vez más pequeños, veloces y de menor consumo de potencia, lo cual ha favorecido su difusión. A medida que se extiende el campo de aplicación de los sistemas digitales, lo hacen las exigencias de funcionamiento a ellos impuestas, nuevos retos en el diseño se presentan a medida que los sistemas embebidos se integran a nuestra vida diaria. Observando la tendencia actual de los sistemas electrónicos, se puede especular que el computador tal como lo conocemos actualmente desaparecerá [1], ya que estará en todas partes, ubicuo, interactuando con los seres humanos para realzar el mundo que ellos viven. Se pasará de un esquema en el que existe un computador para uno o varios usuarios (PC, mainframe) a uno en el que existan muchos computadores para un usuario. Estos computadores disponen de grandes capacidades de cálculo y de comunicación, pero a la vez, poseen un grado de integración tal que serán invisibles; para aclarar como se puede lograr esta invisibilidad, imagínense que existen sistemas embebidos contruidos con técnicas de microfabricación y que son capaces de tomar su energía de fuentes alternas como la temperatura, la radiación solar, o a partir de fenómenos químicos, debido a su reducido tamaño, estos sistemas pueden integrarse a objetos o pintarse sobre ellos, de tal forma que no sean visibles ante los ojos humanos. Esta desaparición no solo será una consecuencia de la tecnología, sino de la sicología humana; cuando las personas asimilan perfectamente algo y se convierte en parte de la vida diaria no se es consciente de su utilización.

Esta situación ha dado origen a una industria gigantesca que proporciona dispositivos que satisfacen las nuevas necesidades humanas, el volumen de producción de este tipo de aplicaciones es tal que el número de procesadores utilizados en ellas ha sobrepasado ampliamente a los procesadores utilizados en aplicaciones tradicionales como estaciones de trabajo y computadores personales. En muchas áreas, los procesadores para aplicaciones específicas han desplzado por completo a los computadores personales, esto, unido a la saturación en el mercado tradicional de software ha originado una migración de muchas compañías y profesionales al diseño de aplicaciones específicas, donde el sistema está diseñado para cumplir una función determinada.

Gracias a esta enorme y creciente demanda, la industria semiconductora presenta una gran dinámica en la creación de nuevos productos que facilitan el desarrollo de nuevas aplicaciones, a diario nos encontramos con dispositivos de consumo masivo como reproductores MP4, cámaras de video, teléfonos celulares que se superan en capacidad y funcionalidad al paso de cortos períodos de tiempo. Esto ha originado una dismunición dramática en el costo de los dispositivos semiconductores necesarios para construir estos productos, y a su vez, un aumento en la funcionalidad de los mismos, lo que se refleja en la necesidad de un número cada

vez menor de componentes para implementar este tipo de aplicaciones; por otro lado, se generó un cambio en la forma de suministrar información por parte de los fabricantes sobre la programación y funcionamiento de sus dispositivos, pasando de un esquema de confidencialidad a una totalmente abierto donde se suministra todo lo necesario (manuales de programación, notas de aplicación, diseños de referencia y software de desarrollo) para entender y utilizar sus productos. Esta dinámica también se presenta en las herramientas de desarrollo necesarias para crear la funcionalidad deseada; los sistemas propietarios se utilizan cada vez menos gracias a la oferta de entornos de desarrollo abiertos creados y mantenidos por una comunidad de desarrolladores que suministran sus conocimientos para el beneficio colectivo, fruto de esta tendencia se han creado aplicaciones tan importantes como el movimiento de software libre y de código abierto (FOSS por sus siglas en inglés), el sistema operativo Linux, y recientemente la plataforma para dispositivos móviles Android.

Todo lo anterior ha generado un clima perfecto para la creación de empresas que utilicen estas facilidades en el desarrollo de productos que puedan ser comercializados local o globalmente, y de esta forma contribuir a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Un ejemplo de esto lo podemos observar en algunos países asiáticos, donde se fortaleció la industria manufacturera de dispositivos electrónicos hasta el punto de dar empleo a una gran cantidad de personas con diferentes niveles de formación y desplazar casi por completo la manufactura de este tipo de productos en el resto del mundo.

Desafortunadamente, la situación en países en vía de desarrollo como Colombia es totalmente diferente; el uso de tecnologías, metodologías de diseño y técnicas de fabricación obsoletas; falta de políticas gubernamentales que estimulen la transferencia real de tecnologías y del conocimiento asociado a ellas; la desconexión entre la academia con los problemas sociales del país y las necesidades de las empresas, han sumido a su industria electrónica en un atraso tal que dependen por completo de productos manufacturados en el exterior, y la mayoría se convierten en representantes de firmas extranjeras sin capacidad de creación local.

Las canales de transferencia tradicionales que se limitan a la compra de equipo y a la capacitación para usarlo y mantenerlo en operación no suministra los conocimientos necesarios para que en el país se generen productos similares adaptados al entorno social, político y económico local. Por lo que es necesario crear metodologías de transferencia que permitan la transferencia de estos conocimientos y puedan ser aplicados por diferentes sectores de la sociedad para mejorar su calidad de vida.

El trabajo que se presenta aquí propone una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos que busca a partir de interacciones locales generar una absorción y asimilación global de los conocimientos necesarios para el diseño, construcción y comercialización de sistemas digitales que utilicen los últimos avances en la industria de los semiconductores. Esta metodología se aplicará inicialmente en una universidad y en una empresa de base tecnológica (creada por iniciativa de la academia), para formar una comunidad que se encargue de crear herramientas para la difusión de los conocimientos adquiridos durante el proceso de transferencia (recurso). El carácter de la comunidad y del recurso (conocimiento) que ella utiliza/genera/mantiene/depura es totalmente abierto, y cualquiera que esté interesado puede utilizar/generar/mantener/depurar dicho recurso y ser miembro de esta comunidad; es decir, el conocimiento es considerado como un bien común y el acceso a él es un derecho que debe ser garantizado, esto va en contravía con las políticas actuales de los centros de desarrollo tecnológicos existentes en el país, donde se debe pagar por el acceso a este conocimiento, a pesar de ser financiados con dineros públicos.

### **1.0.1. Sistemas Embebidos.**

En la actualidad, cada vez con más frecuencia, se notan signos de la invasión digital, por ejemplo, en el aumento de chips embebidos en los dispositivos que utilizamos a diario. Se ha demostrado [2] que una persona que vive en un país industrializado se ve confrontada con un promedio de 40 chips al día, de los

cuales 5 son capaces de comunicarse en redes. Se estima que dentro de 10 años estaremos en contacto con cientos de estos chips, la mayoría de los cuales acceden a densas redes de información [3], muchos de estos artefactos toman la apariencia de objetos que utilizamos en nuestra vida diaria (herramientas, vestuario, electrodomésticos, etc) pero son mejorados con sensores, actuadores, procesadores y software embebido. Una de las razones de la aparición de estos sistemas es económica. Las industrias han visto como se muestran signos de recesión en los mercados tradicionales. Por lo tanto, buscan nuevos productos en los que pueden ser embebidos chips y software.

La aparición de los dispositivos digitales en nuestras vidas no es una revolución, por el contrario es una consecuencia lógica de la evolución de las relaciones entre los usuarios y los sistemas digitales, los cuales se han caracterizado por una democratización de acceso a los equipos y una descentralización de la infraestructura subyacente. En el primer período (1950-1970) se compartían recursos a través de terminales, es decir, se contaba con un computador para muchos usuarios. En los 80s, la aparición de los computadores personales impulsa la relación personal entre los computadores y usuarios. En los 90s la aparición de Internet permitió compartir recursos a través de un computador personal. Internet no es más que un paso adelante hacia la llegada de los sistemas de computación ubicua. La misma filosofía de simplificación y descentralización prevalece hasta hoy y nos conducirá a una situación donde miles de dispositivos computacionales estarán disponibles para realizar nuestras tareas y se compartirán recursos a través de redes más intrincadas que Internet.

### 1.0.2. ¿Por qué los Sistemas Embebidos?

#### Mercado de los Sistemas Embebidos

Según BCC, inc.<sup>1</sup> el mercado de los sistemas embebidos es de \$92 billones de dólares y se estima que sea de \$112.5 billones en 2013, con una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) del 4.1 %. El hardware embebido tuvo un valor de \$89.8 billones en 2008 y se espera que crezca a un CAGR del 4.1 % para alcanzar \$109.6 billones en 2013. El software embebido generó \$2.2 billones en 2008 y podrá aumentar a \$2.9 billones en 2013 para un CAGR del 5.6 %. La figura 1.1 muestra los ingresos por región, de ella se puede deducir que USA, Canada, y los países asiáticos dominan este creciente mercado.

#### Penetración de los Sistemas Embebidos

Más de un billón de dispositivos embebidos fueron vendidos en el 2004, siendo sus principales áreas de aplicación los computadores, las telecomunicaciones, consumo, automóviles, medicina, oficina, industria militar. La figura 1.2 muestra las ganancias obtenidas en el 2004 y en el 2009 para cada una de estas categorías.

#### Perspectivas de Empleo

La industria de los sistemas embebidos proporciona empleo a diferentes niveles de especialización:

- Software
  - Soluciones y aplicaciones embebidas: Desarrollo de aplicaciones software que implementan funcionalidades específicas al área de acción del dispositivo; utilización de entornos de programación, lenguajes de alto nivel, interfaces para programación de aplicaciones (APIs)

---

<sup>1</sup><http://www.bccresearch.com/>

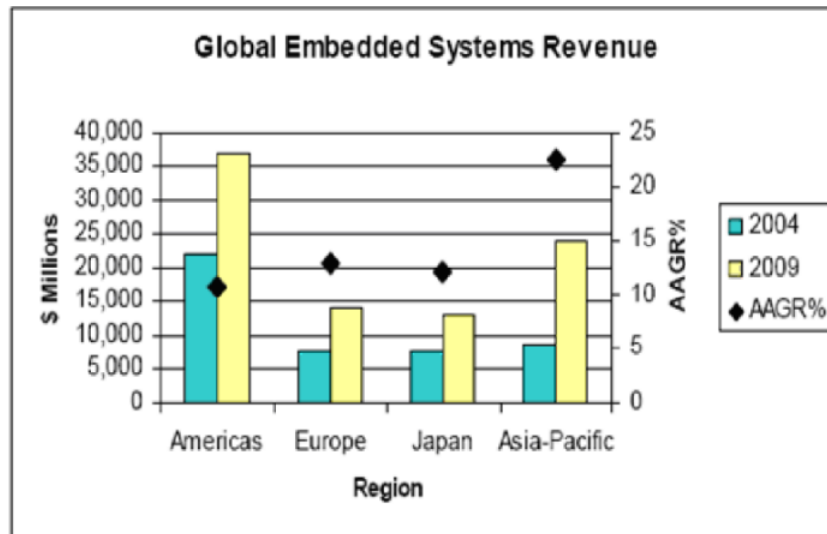


Figura 1.1: Sistemas Embebidos: Ingresos por región 2004-2009. Fuente: "Future of Embedded System Technology" BCC report G-229R

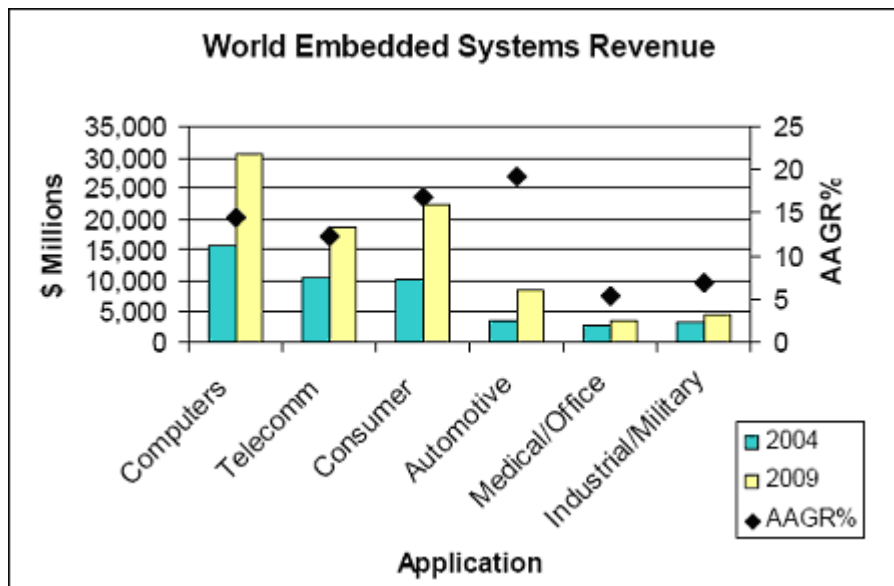


Figura 1.2: Sistemas Embebidos: Ingresos Globales 2004-2009. Fuente: "Future of Embedded System Technology" BCC report G-229R



- Integración de sistemas: Utilización de dispositivos comerciales existentes (como plataformas de desarrollo, librerías) para la creación de nuevos productos.
  - Creación de drivers de dispositivos: Soporte de dispositivos hardware como puertos de comunicaciones, interfaces hombre-máquina, dispositivos de almacenamiento a un determinado sistema operativo.
  - Desarrollo de paquetes para soporte a plataformas: Generación de distribuciones de un determinado sistema operativo donde se incluya soporte a todos los periféricos de una determinada plataforma de desarrollo, software necesario para administrar aplicaciones y entornos de programación de aplicaciones.
- Hardware
    - Diseño y verificación ASIC: Diseño y certificación de circuitos integrados de aplicación específica, esto es la mejor opción desde el punto de vista económico cuando se superan las 20000 unidades de un determinado producto.
    - Diseño de placas de circuito impreso: Placas electrónicas diseñadas a la medida de una determinada aplicación.
    - Diseño de carcasas: Diseño de la caja donde se colocará la placa de circuito impreso y que permitirá la interacción con el usuario.
    - Certificaciones: Pruebas que certifican el cumplimiento de normas locales e internacionales que permiten el uso de dispositivos electrónicos.
  - No Técnicos
    - Comercialización
    - Ventas
    - Servicios post-venta
    - Soporte

## 1.1. Estado de la Industria Electrónica en Colombia

En la actualidad Colombia atraviesa por una “crisis” a nivel de diseño de sistemas digitales, existe un atraso muy grande en esta área; a nuestro modo de ver existen dos grandes responsables de esta situación; por un lado, las políticas de la mayoría de las industrias al no realizar inversión de capital en sus departamentos de I+D; algunas de ellas ni siquiera cuentan con este departamento; por otro lado, algunas universidades no cuentan con programas actualizados que permitan explotar los avances realizados en las industrias electrónica y de semiconductores; en un gran número de universidades colombianas aún se trabaja con dispositivos de función fija como las familias 74 y 40, los lenguajes de descripción de hardware han sido adoptados recientemente en la mayoría de programas de ingeniería electrónica, pero en algunos casos no existe una base metodológica que soporte su adecuada utilización. La disponibilidad de dispositivos lógicos programables (FPGAs, CPLDs) es limitada debido a la inexistencia de un proveedor local; se dedican cursos completos para “enseñar” a programar microprocesadores de 8 bits en lenguaje ensamblador y muchos educadores aún miran con desconfianza a los lenguajes de alto nivel como el C, C++; en muy pocos programas de ingeniería electrónica no se cuenta con una asignatura dedicada a sistemas operativos y en muchos de ellos no se le da la importancia que tiene la enseñanza de lenguajes estructurados.

La situación se agrava aún más al ver el estado de la relación entre la universidad y la industria, la cual no existe en algunos casos. Desde el punto de vista industrial los resultados obtenidos en la academia parten

de entornos ideales y no se tienen en cuenta las características de los entornos industriales, lo cual da como resultado sistemas poco robustos y con problemas funcionales. Por otro lado, los tiempos de desarrollos son muy largos ya que la mayoría de las universidades colombianas no cuenta con grupos de investigación consolidados en estas áreas; esto, debido a la falta de recursos económicos y de personal especializado que posea las habilidades necesarias para abordar este tipo de proyectos.

### **Apropiación de Conocimiento y Transferencia Tecnológica**

Un estudio reciente [4] asegura que para que Colombia llegue a ser generador de productos tecnológicos, es necesario generar un conocimiento que permita esta transición. “Para que el conocimiento sea motor de desarrollo es necesario el traspaso desde sus creadores a la sociedad, mediante la conversión a tecnologías que produzcan cambios radicales que incrementen la producción. Esa transmisión de tecnología generadora de crecimiento económico esta influenciada por diversos factores: medio geográfico, leyes de propiedad industrial, costos laborales, nivel de ciencia y tecnología, religión, tipos de instituciones, resistencia a innovar, políticas de estado, guerras, factores demográficos, entre otros” [4].

Pero ¿cómo obtener este conocimiento? Arrow [5] afirma que la obtención de conocimiento puede efectuarse de varias formas: “aprender haciendo”, “aprender usando”, “aprender leyendo”. Cuando una empresa decide transmitir su conocimiento disponible, lo hace en procesos de investigaciones conjuntas, en actividades de producción, y distribución, mercadeo, servicio y soporte operativo o riesgo compartido. También se presentan alianzas entre firmas como: contratos de I+D, acuerdos de licencias, licencias cruzadas. La conformación de estas asociaciones permite crear redes tecnológicas dominadas por países industrializados con sus respectivas empresas multinacionales monopolizando conocimiento [4].

El problema colombiano radica en que las empresas nacionales no adquieren el conocimiento necesario para innovar al interior de las mismas; de forma que puedan ser competitivas y logren acceder a mercados internacionales ofreciendo nuevos productos, de calidad y a precios competitivos. Con efectos directos como: generación de empleos especializados, desarrollo tecnológico e industrial sostenido, ampliación del conocimiento nacional y disminución de la salida de divisas [4].

En este orden de ideas, si el país no es un innovador neto ¿no debería más bien mostrar una tendencia a importar conocimiento? Y las firmas nacionales ¿no deberían ser las que más efectuaran este tipo de contratos, para así acceder al conocimiento de la tecnología adquirida? En resumen, conociendo mejor qué tecnología se importa y qué tipos de contratos se utilizan, es posible crear marcos de referencia para empresas nacionales que estén interesadas en adquirir tecnología. Con una adecuada importación de conocimientos tecnológicos se crearía una ventaja competitiva de carácter estructural, basada en un acervo de conocimiento tecnológico que permita incrementar la productividad en todos los sectores económicos de manera permanente [4].

Según los estudios realizados por Martínez [4], con base en registros del Decreto 259/92, del Incomex, la importación de conocimiento no está siendo empleada con el propósito de utilizar tecnologías de punta que permitan efectuar innovaciones al interior de las empresas y de los sectores; las empresas nacionales se limitan a comprar un determinado dispositivo o equipo, sin tener el conocimiento para operarlo, hacerle mantenimiento, mejorarlo ni mucho menos producirlo, por lo que se ven obligadas a contratar con el vendedor para dicho fin; esto indica, que la adquisición de tecnología no se realiza con base en un programa desarrollado de antemano, sino son una respuesta a cambios en el mercado, lo cual evidencia la inexistencia de programas de innovación encaminados a la disminución de la brecha tecnológica.

### Situación de la Industria Electrónica en Colombia

La industria electrónica nacional no es ajena a las políticas que siguen las empresas nacionales en cuanto a la apropiación de tecnología; Colombia depende totalmente de economías más desarrolladas para el suministro de dispositivos electrónicos en diversas áreas (comunicaciones, entretenimiento, industria, medicina, etc). Mientras en otros sectores de la economía han pasado de ser consumidores a exportadores, y adquieren nuevas tecnologías para ser más competitivos, el sector electrónico del país ha reducido sus actividades de investigación y desarrollo hasta el punto de depender totalmente de productos externos, de los cuales, algunos son de baja calidad y no suplen los requerimientos del mercado local, pero son utilizados porque son muy económicos.

En la actualidad la industria electrónica presenta una gran dinámica a nivel mundial, el uso de los sistemas electrónicos se extiende a todas las actividades humanas; la demanda mundial de este tipo de sistemas aumentará de forma importante en los próximos años, especialmente en los sectores de tecnología médica, movilidad, seguridad, comunicaciones y consumo [6]. Por otro lado, la inversión de capital necesaria para el diseño de sistemas digitales es relativamente baja, gracias a la gran demanda originada y que los insumos y los servicios de fabricación son muy económicos, las herramientas de desarrollo necesarias para la programación y depuración de este tipo de sistemas son de libre distribución. Desafortunadamente en Colombia la industria electrónica se encuentra muy rezagada en relación a las de los países industrializados, y las ventajas y oportunidades de negocios mencionadas anteriormente no son aprovechadas en la actualidad.

Según ASESEL <sup>2</sup> en el 2001 <sup>3</sup> existían 154 empresas productoras de componentes y equipos de la cadena electrónica; dentro de los productos que la industria electrónica exporta se encuentran registrados: circuitos integrados, circuitos impresos, microestructuras, instrumentos para medida y control, instrumentos y aparatos eléctricos o electrónicos. Es importante decir que la industria colombiana, en la actualidad no fabrica circuitos integrados, ni microestructuras, por lo que estas son ventas de productos comprados en países desarrollados. Según Proexport el 91 % de las exportaciones son realizadas por Bogotá y los destinos se encuentran en países cercanos como Venezuela, Perú, Ecuador y USA. Según ASESEL, la producción durante el período 2000 - 2007 aumentó en un 4 % llegando a 936 mil millones de pesos, las exportaciones aumentaron en un 15 % llegando a 1093 mil millones de pesos y las importaciones subieron en un 18 % llegando a 13.262 mil millones en el mismo período de tiempo; lo que muestra que la industria electrónica en Colombia importa más que lo que exporta y genera internamente.

La electrónica en Colombia y en el mundo hace parte de esas industrias que se mueven velozmente en un camino desconocido, como consecuencia se hace necesario tener una actualización constante de los avances tecnológicos y las proyecciones futuras del sector. Debido a la importancia del sector tecnológico es primordial que en Colombia se esté consciente del estado actual y que se puede hacer en términos de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) en ingeniería electrónica.

### Causas del Atraso Tecnológico en Colombia

Estudios realizados en Colombia [7] [8] [9] y en otros países [10] [11] [4] identificaron los siguientes obstáculos para el desarrollo de la industria electrónica: deficientes relaciones universidad - empresa, pobre enfoque académico hacia la industria, baja calidad de los productos nacionales, falta de políticas gubernamentales, falta de cultura de investigación y reducida apropiación tecnológica, competencia con productos extranjeros, atraso tecnológico y limitado recurso humano con formación avanzada.

---

<sup>2</sup>Asociación de entidades del Sector Electrónico

<sup>3</sup>Desde este año no se ha realizado ningún estudio sobre la industria electrónica. Debido a que no existe un código para la clasificación industrial internacional uniforme (CIIU) específico para la industria electrónica, las empresas del sector electrónico se encuentran dispersas y la gran mayoría comparten la casificación *no clasificadas previamente* (NCP), su estudio se dificulta. Esto se debe a que la industria electro-electrónica hace un aporte muy bajo al PIB y no tiene mayo peso en la industria nacional (fuente: ASESEL)

De los problemas expuestos anteriormente se pueden identificar los que más afectan el desarrollo de la industria electrónica en Colombia, el que más perjudica sin lugar a dudas es el atraso tecnológico, no es posible ser competitivo en el mercado electrónico mundial con tecnologías y metodologías de diseño obsoletas.<sup>4</sup> La culpa de este atraso tecnológico no es exclusiva de la industria, aunque, como se mencionó anteriormente muchas industrial colombianas se resisten al cambio y prefieren comprar equipos en el exterior a buscarlos localmente, la falta de confiabilidad en los productos colombianos agrava este problema, esta falta de confianza en la industria local no es infundada, la mayoría de los productos colombianos no cumplen con las normas mínimas de calidad y utilizan productos de bajo costo obtenidos en remates de componentes.

Otro actor que contribuye al retraso tecnológico es el sector académico; según el Sistema Nacional de Información Superior, durante los últimos 10 años se han abierto 230 programas relacionados con la industria electrónica, estos programas están repartidos entre programas de formación universitaria, tecnológica terminal y de técnica profesional, la mayoría de estos centros de formación se encuentran ubicados en 3 departamentos: Bogotá, Antioquia y Valle [9]. El número de ingenieros graduados en un año es entre 2 y 8 veces mayor que en los países en vía de desarrollo y doce veces mayor que los que se gradúan en los países desarrollados. En Colombia, este aumento es aportado por instituciones de poca consolidación académica; además, las preferencias en la educación superior son formación técnica / formación tecnológica / formación profesional que es justamente lo opuesto a la de los países desarrollados [8].

Por otro lado, el contenido y metodologías de las asignaturas relacionadas directamente con la industria electrónica se encuentran muy desactualizados, y fuera del contexto mundial; se utilizan metodologías de diseño antiguas en las que primaba la experiencia del diseñador, se realizan tareas manuales, repetitivas que pueden ser realizadas por herramientas de diseño moderno, los currículos son conservadores, hay poca experimentación y su estructuración y metodologías son muy clásicas. Adicionalmente, muchos investigadores dedican sus estudios en proyectos que no aportan al desarrollo del país pero que pueden brindarles más reconocimiento internacional. Otro problema adicional radica en la falta de experiencia en el sector productivo por parte del personal académico, un componente importante de los profesores nunca han sido parte de un proceso productivo o de un proceso de desarrollo que tenga como fin la creación de un producto comercial, razón por la cual se evita la experimentación y se da más énfasis al análisis y solo se llega a una simulación.

De lo anterior se puede concluir que en Colombia se presenta una sobre-oferta de profesionales en el área electrónica, que han sido formados en programas desactualizados que no tienen en cuenta los avances tecnológicos y metodológicos, lo cual explica la falta de ingenieros con altos niveles de formación y la escasa demanda de profesionales en el área. Por esta razón no es de extrañar la poca confianza que tienen los industriales en los productos nacionales. Esto unido a la falta de políticas de estado que tracen normas encaminadas a incentivar la inversión en investigación y desarrollo, defina líneas y campos de investigación, regule la oferta laboral y los programas académicos, generan el clima perfecto para que el atraso tecnológico se mantenga durante mucho tiempo y Colombia siga siendo consumidor de tecnología. Según John Kao, uno de los grandes expertos del mundo en innovación, los países desarrollados no invierten en Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) porque son ricos, sino que son ricos porque invierten en CTI.

## El conocimiento Como Bien Común

Es indudable que el desarrollo tecnológico de un país se encuentra ligado al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, y que para que en un país en vías de desarrollo se realice una transferencia tecnológica (y de conocimientos asociados a la tecnología que se transfiere) exitosa que permita desarrollar productos similares, pero ajustados al contexto socio-económico local, es necesario que el país cuente con

<sup>4</sup>En Colombia trabajamos aún con circuitos integrados que se crearon en la década de los 80 del siglo pasado y utilizamos lenguajes de programación como el *assembler*, para el cual el tiempo de aprendizaje, desarrollo y de depuración es muy largo

la capacidad de absorber las habilidades, técnicas, información y organización asociadas a dicha tecnología. Esta absorción de conocimientos debe ser realizada por un gran número de personas y entidades para que la transferencia tenga un impacto significativo en la sociedad, este conocimiento debe ser considerado como un bien público, y como tal, el acceso a él, debe ser un derecho y por lo tanto, la sociedad debe garantizar los mecanismos de difusión para que llegue a los sectores interesados en él. De igual forma, es un deber, de los sectores que utilizan este bien, contribuir a su difusión, actualización, mejoramiento, y crecimiento.

El conocimiento en esta propuesta se refiere a las ideas intangibles; información y datos en el que el conocimiento es expresado u obtenido; y como el entendimiento adquirido a través de la experiencia o estudio ya sea propio, científico, académico o no académico. La adquisición y descubrimiento de conocimiento es un proceso social y personal. *El descubrimiento de conocimiento es un bien y un tesoro que dejamos a futuras generaciones y el reto de nuestra generación es en mantener los caminos del descubrimiento abiertos.*

Ostrom [12] propone dos variables generales para clasificar los diferentes tipos de bienes: *el nivel de exclusión* entendido como la dificultad para excluir el acceso a un recurso por parte de usuarios potenciales; y *el nivel de rivalidad* el cual se refiere al impacto que tiene el uso de un recurso por un individuo (o grupo) sobre el uso de otros usuarios. Ostrom, identifica cuatro tipos de bienes y/o servicios: *bienes públicos* bajo nivel de rivalidad y bajo nivel de exclusión; *bienes comunes* alto nivel de rivalidad y bajo nivel de exclusión; *club goods* bajo nivel de rivalidad y alto nivel de exclusión y *bienes privados* alto nivel de rivalidad y alto nivel de exclusión. A nuestro modo de ver, el conocimiento es un recurso con un grado de rivalidad bajo, ya que no se afecta negativamente al aumentar el número de usuarios, lo que nos deja la posibilidad de clasificarlo como un bien público o un bien tipo club.

Idealmente, el conocimiento debería ser un bien público, esto es, no deben existir restricciones para acceder a él; sin embargo, en la actualidad el acceso al conocimiento es restringido, ya sea por medio de patentes, derechos de propiedad intelectual (lo cual es muy común en el desarrollo de nuevos productos y tecnologías) o por que el acceso al conocimiento tiene un costo que no puede ser pagado por cualquier miembro de la sociedad. En Colombia el acceso a la educación técnica, tecnológica y superior es limitado, se tiene una cobertura del 37 % <sup>5</sup>. La escasez de cupos en los centros de formación públicos y los altos costos de las matrículas en las universidades privadas (con niveles de calidad similares) ha convertido al conocimiento en un bien tipo club (en Colombia); afectando de forma considerable la cantidad de personal con las capacidades necesarias para absorber los conocimientos asociados a nuevas tecnologías; adicionalmente, según el ministerio de educación nacional, el 64 % de los matriculados cursan programas universitarios y el 24 % en programas relacionados con ingeniería.

Otra fuente de capacitación la suministra el único centro de desarrollo tecnológico de la industria electrónica CIDEI, a través de tres cursos: Diseño digital empleando dispositivos lógicos programables; diseño de software embebido para microcontroladores ARM y diseño de circuitos impresos con normas internacionales IPC; sin embargo, el elevado costo de estos cursos genera una barrera en la obtención de este conocimiento por parte de los interesados.

A nuestro modo de ver, basados en el estado de la industria electrónica nacional y de la capacidad del país para la formación de personal calificado, el principal problema que presenta la industria electrónica nacional es la falta de conocimientos sobre procesos de diseño y fabricación, debido en parte a la fuerte exclusión que se tiene al acceso de la información relacionada, lo que se traduce en la incapacidad de producción local de productos que cumplan con los estándares internacionales. Este trabajo pretende crear un recurso público basado en el conocimiento necesario para concebir, diseñar, implementar y operar sistemas digitales que

---

<sup>5</sup>Según el observatorio de la universidad colombiana esta cifra está *inflada* por las matrículas del SENA; aunque la cobertura en educación media aumentó de forma considerable, análisis realizados por varios profesores de la facultad de ingeniería de la universidad nacional demuestran que los conocimientos de los recién ingresados ha disminuido de forma considerable llegando al punto de tener que crear nuevos cursos para suplir deficiencias en su formación

utilicen tecnología de punta y metodologías de diseño modernas, proporcionando:

- Diseños de referencia de sistemas digitales funcionales que puedan ser utilizados en la generación de nuevos productos.
- Repositorios donde se puedan descargar los archivos necesarios para entender, reproducir y modificar estos diseños de referencia.
- Un programa académico que actualice los contenidos y la metodología de las asignaturas del área de electrónica digital.

Este “recurso” estará representado por: los archivos necesarios para entender, reproducir y modificar plataformas de desarrollo que pueden ser utilizadas para la creación de nuevos productos que den solución a problemas locales; la documentación necesaria para entender el proceso de diseño de un sistema digital complejo; una comunidad que crea/utiliza/mantiene el recurso; medios de comunicación y de almacenamiento para los proyectos existentes y facilidades que permitan la creación de nuevos proyectos. Cada uno de estos proyectos representa la aplicación de técnicas de diseño y de fabricación modernas de sistemas embebidos y pueden ser utilizados por los industriales y por la academia como herramientas de capacitación; su carácter público permite el acceso y uso por parte de cualquier interesado; proporcionando un canal de acceso al conocimiento sin restricciones.

Tomando como fuente de inspiración el movimiento de software libre y de código abierto (FOSS) <sup>6</sup>, se trabajará en la definición de un concepto similar pero aplicado al desarrollo hardware, es decir, que permita la generación, distribución, estudio y modificación de plataformas físicas (placas de circuito impreso, dispositivos funcionales); este movimiento recibirá el nombre de *hardware copyleft* y su principal objetivo es servir como canal para la transferencia del conocimiento necesario para diseñar y producir sistemas digitales a todo sector de la sociedad que esté interesado. Con esto pretendemos generar en el país los conocimientos necesarios para aumentar la oferta de productos tecnológicos generados localmente, lo que se traducirá en un aumento de la oferta local de bienes y servicios relacionados con la manufactura de sistemas digitales, generando empleo para personas con diferentes niveles de formación.

---

<sup>6</sup>Hoy en día la estructura auto-gobernada más exitosa, millones de personas alrededor del mundo trabajan de forma conjunta y distribuida en busca de un bien común: Generación y distribución de herramientas software, sistema operativo y todo tipo de aplicaciones incluyendo el código fuente bajo una licencia que permite su distribución y modificación. Este movimiento ha generado alternativas que compiten con Microsoft y lo ha superado ampliamente en aplicaciones de sistemas digitales

## Capítulo 2

# Descripción de la Tesis

### 2.1. Objetivos

#### Ojetivo Principal

Desarrollar una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos en el diseño de Sistemas Embebidos y de esta forma contribuir a dar solución al problema del atraso tecnológico en Colombia.

#### Objetivos Específicos

- Formulación de una metodología para la transferencia tecnológica y de conocimientos en el área de diseño y fabricación de Sistemas Embebidos en Colombia que permita generar cambios globales de forma gradual (nivel ciudad, departamento, país) a partir de interacciones locales <sup>1</sup> (por ejemplo Universidad Nacional - empresa de base tecnológica, Universidad Nacional - Universidad de los Andes, empresa A - empresa B). Esta transferencia se realizará desde la universidad (presente trabajo) hacia: la universidad, actualización de programas académicos y creación de habilidades (en los egresados) necesarias para desarrollar nuevos productos; a la industria: suministrando plataformas que pueden ser utilizadas en el desarrollo de nuevos productos comercializables.
- Formulación o adaptación de una metodología de diseño y producción para sistemas embebidos aplicable en el entorno local y su respectiva aplicación y validación en un programa académico de un centro de formación superior consolidado y en una empresa de base tecnológica.
- Generación de un recurso público basado en el conocimiento necesario para diseñar implementar y producir sistemas digitales que den solución a problemas locales y puedan ser comercializados. Este recurso estará conformado por: Diseños de referencia de sistemas digitales funcionales que puedan ser utilizados en la generación de nuevos productos; Repositorios donde se puedan descargar los archivos necesarios para entender, reproducir y modificar estos diseños de referencia; Un programa académico que actualice los contenidos y la metodología de las asignaturas del área de electrónica digital, que pueda ser utilizado para crear habilidades necesarias para crear y fabricar dispositivos digitales en estudiantes y profesionales.

---

<sup>1</sup> no a nivel nacional ya que esto requiere cambio de políticas de estado y esto se encuentra fuera del alcance de este trabajo

- Identificación de las habilidades requeridas por los profesionales en ingeniería electrónica para estar acorde con la tendencia de la industria electrónica mundial, creación de un programa académico que ayude al refuerzo de estas habilidades en las asignaturas relacionadas con el diseño digital y formulación de recomendaciones para la industria y los organismos gubernamentales encaminadas a mejorar la productividad de la industria electrónica del país.
- Creación de herramientas de difusión que permitan el acceso de este recurso a cualquier sector de la sociedad que esté interesado.

### **Resultados Esperados e Impacto**

Con la realización de este proyecto se busca generar la base de un recurso de bien público representado por el conocimiento necesario para concebir, diseñar, implementar y operar sistemas digitales; administrado/uso/mantenido/depurado/aumentado por una comunidad formada por personas o instituciones con disponibilidad para trabajo colectivo cuyas acciones están basadas en el beneficio común; se pretende vincular a esta comunidad a docentes y estudiantes de centros de formación y a industrias de base tecnológica de diferentes regiones del país. El esquema de licencias utilizada por este recurso permitan su estudio, uso, modificación y reproducción (incluso para fines comerciales); con los requisitos de dar crédito al autor del trabajo original y que los trabajos derivados posean el mismo esquema de licencias, lo que facilitará su difusión y permitirá su aumento y depuración.

El éxito de esta iniciativa radica en el crecimiento de la comunidad que administra/usa/mantiene/depura/aumenta el bien público, a diferencia de los recursos tradicionales como los naturales o económicos, el conocimiento no se ve afectado por el aumento de usuarios; por esto, no deben existir restricciones para acceder a sus contenidos y se deben proporcionar mecanismos de difusión para que este conocimiento llegue a los sectores de la sociedad interesados en él. Se espera que los resultados de esta investigación proporcionen herramientas a centros de diferentes niveles de formación a lo largo del país, que les permitan actualizar sus programas académicos y compartir experiencias educativas con el fin de uniformizar los contenidos de las asignaturas relacionadas con el diseño digital, incorporando actividades que le permitan a los estudiantes adquirir habilidades en el diseño e implementación de dispositivos digitales que den solución a problemas locales reales y puedan ser comercializados. Adicionalmente, se desea crear una red de cooperación entre las universidades que hagan parte de esta comunidad, para realizar proyectos conjuntos encaminados a continuar el presente trabajo y a compartir los escasos recursos gubernamentales destinados a investigación y desarrollo.

Se espera que el suministro de plataformas de referencia que pueden ser utilizadas como punto de partida para el desarrollo de nuevos productos ahorre años de desarrollo y dinero a empresas locales en la absorción de esta tecnología, permitiendo aumentar la oferta interna de diseño de sistemas digitales y a su vez la demanda interna de bienes y servicios relacionados con la manufactura de sistemas digitales, y de esta forma generar empleo para personas con diferentes niveles de formación. El cambio de las costumbres de empresas constituidas y que utilizan productos extranjeros es una utopía, por lo que este cambio se espera realizar en empresas recientemente consolidadas, por estudiantes que fueron formados con las habilidades necesarias para crear productos novedosos.

## **2.2. Hipótesis**

La función de la academia en países en vías de desarrollo como Colombia debe girar entorno a la solución de problemas nacionales, aunque este tipo de investigaciones no proporcionan el mismo prestigio que trabajos que buscan dar solución a problemas mundiales actuales, si reflejan un grado de compromiso con



el entorno social en donde ella opera. La Universidad Nacional de Colombia, es la entidad de educación superior pública más importante del país y tiene como misión contribuir a la elaboración y resignificación del proyecto de Nación, estudiando y enriqueciendo el patrimonio cultural, natural y ambiental del país; su posición privilegiada como referencia académica en los órdenes científico, tecnológico, cultural y artístico le permite introducir cambios que serán adoptados por otros centros de formación del país y por organismos encargados de generar políticas nacionales en diferentes áreas. Esta investigación está financiada en su totalidad por la Universidad Nacional, y como una forma de retribución a la sociedad se trabajará en la solución de un problema local que puede ser mejorado con la aplicación de los resultados de este estudio.

Esta propuesta se basa en la creencia de que la generación local de productos tecnológicos impulsará el desarrollo de la industria electrónica colombiana generando fuentes de empleo para personas con diferentes niveles de formación, mejorando de esta forma la calidad de vida de la sociedad. Pero para que el país se convierta en un productor de dispositivos tecnológicos es necesario absorber, asimilar, aplicar y difundir los conocimientos asociados a dicha tecnología, los mecanismos de transferencia tradicionales:

- **Adquisición de IT:** La adquisición de equipo ha sido uno de los mecanismos de transferencia más importantes para los países en desarrollo. Estos equipos se entregan con el software requerido para su funcionamiento con lo que no es necesario que los usuarios generen aplicaciones, adquiriendo únicamente el conocimiento necesario para utilizarlas, y por lo tanto no saben como funcionan ni como están construidas. Otra forma de transferencia se presenta cuando una empresa vende una solución personalizada a las necesidades de los clientes; la transferencia se presenta en el proceso de personalización, esto, unido a otras habilidades en programación ayudan a elevar el mercado de software local; sin embargo, en muchas ocasiones no se realiza ningún tipo de transferencia de know-how en la adquisición de estas máquinas.
- **Educación y Entrenamiento:** Educar a las personas a través de cursos y entrenamiento en el país y enviándolas al extranjero para otros estudios es una forma de adquirir know-how sobre nuevas tecnologías, o tecnologías que no se utilizan en el país de origen. Muchas instituciones ofrecen carreras en ingeniería electrónica, ciencias de la computación y afines, algunas de ellas utilizan modelos pedagógicos copiados de países desarrollados que no han sido adaptados plenamente a la infraestructura tecnológica local, y no es raro encontrar estudiantes que no están satisfechos con su profesión al finalizar los cursos[13]. La transferencia tecnológica no ocurre cuando estudiantes formados en el exterior no pueden aplicar sus conocimientos en su país de origen, por lo que es necesario crear políticas que definan que áreas de estudio son prioritarias para el país.

Las multinacionales también ofrecen cursos de capacitación, sin embargo, se limitan al uso de sus productos, creando dependencia hacia sus herramientas. Adicionalmente, existen centros privados de capacitación que ofrecen cursos para el manejo de paquetes y lenguajes de programación, estos centros aprovechan la falta de centros de enseñanza tecnológica y personal calificado para cobrar altas sumas de dinero, lo cual limita el acceso. Programas académicos inapropiados, acceso limitado a libros y computadores, falta de facilidades para capacitación, reduce la efectividad de la educación y capacitación como canal para la transferencia tecnológica.

- **Asistencia Técnica:** La ventaja de contratar consultores externos radica en el ahorro de tiempo y dinero, ya que, utilizar personal local implicaría un gran esfuerzo y posiblemente se tendrían que asumir errores costosos en el proceso; sin embargo, no es bueno confiar a consultores externos la responsabilidad de construir habilidades locales, ya que reduce el desarrollo de estas habilidades, especialmente, la del personal encargado de manejar proyectos. En algunas ocasiones los consultores no están familiarizados con las condiciones y requerimientos locales, con lo que diseñan soluciones que no se ajustan perfectamente a las necesidades, lo que significa que el sistema es sub-utilizado y la transferencia de tecnología es poca. La falta de personal calificado hace que los consultores

se encarguen de todas las tareas del proyecto, lo que aumenta su carga de trabajo y disminuye la posibilidad de entrenamiento de personal local[13].

- **Licenciamiento:**El licenciamiento es un canal que se utiliza para transferencia de know-how sobre productos o procesos, es aplicado de forma individual o en combinación con otros instrumentos como investigación extranjera, importación de maquinaria o de técnicos. Sin embargo, no es efectivo si no se acompaña de habilidades administrativas y de producción. Adicionalmente, es necesario contar con una infraestructura tecnológica adecuada, capacidades locales de fabricación de hardware y software y políticas de gobierno adecuadas [13].
- **Inversión Extranjera Directa:** La inversión directa de multinacionales es una forma de obtener tecnología externa. Esto asegura una rápida transferencia de información tecnológica, pero no necesariamente del entendimiento o know-how. Lo que hace que la tecnología transferida a través de este canal sea mínima. Las grandes multinacionales pueden tener cierto control político en los países en vía de desarrollo, hasta tal punto que son asesores de instituciones encargadas de fijar políticas para la transferencia tecnológica [13].

Estos canales no han sido eficientes en la transferencia tecnológica y de conocimientos en el área de diseño digital ya que no se evidencia el aumento de la auto-suficiencia en el país, todo lo contrario, cada vez se utilizan más y más productos provenientes del exterior reemplazando los producidos localmente; esto ocurre porque el país no cuenta con el suficiente personal calificado que pueda absorber, asimilar y aplicar la nueva tecnología, debido en parte a que el acceso a la información se encuentra restringido y al desconocimiento de la importancia del desarrollo de esta tecnología; la cobertura de las universidades públicas está limitada por los recursos casi congelados que entrega la nación; adicionalmente, el único centro de desarrollo tecnológico del sector electrónico (CIDEI) y que ha recibido cerca de 2200 millones de pesos (dinero público) para desarrollar proyectos que ayuden en el desarrollo tecnológico del país en esta área utiliza a las universidades como fuente de capacitación, y proporciona a la sociedad costosos servicios que no pueden ser pagados por cualquier interesado <sup>2</sup>.

Esta propuesta, centra sus esfuerzos en: la formación de personal que entienda la importancia de esta tecnología y la pueda utilizar para dar solución a problemas locales, adaptándose dinámicamente a futuros cambios en la tecnología; actividades que buscan crear conciencia en la sociedad de la importancia del uso de esta tecnología; la creencia que el conocimiento es un bien público y el acceso a este recurso debe garantizarse por parte de la sociedad. Para que este trabajo tenga un mayor impacto y difusión se deben evitar temas en los que se requieran grandes inversiones en infra-estructuras como diseño y fabricación de Circuitos Integrados o aplicaciones en nanotecnología <sup>3</sup>, ya que los laboratorios y las herramientas software necesarios son muy costosos y en el país no existe aún la demanda suficiente que sostenga los costos de funcionamiento de este tipo de procesos; tampoco en temas que requieran firmas de acuerdos de no divulgación (NDA) o la utilización de costosas herramientas comerciales. Estas restricciones están encaminadas a generar alternativas económicas que puedan ser implementadas en cualquier centro educativo o pequeña empresa. Teniendo en cuenta esto, se trabajará con: dispositivos semiconductores de fácil adquisición que estén siendo utilizados en la elaboración de productos actuales de consumo masivo; herramientas de diseño de circuitos impresos y de desarrollo abiertas; y sistemas operativos gratuitos.

Resumiendo, a nuestro modo de ver, en el país no se ha presentado una transferencia tecnológica exitosa en

<sup>2</sup>El autor del presente estudio y profesores del departamento de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Nacional ha suministrado en varias ocasiones la capacitación de los proyectos adelantados por el CIDEI, un curso ofrecido por ellos es el resultado de dichas capacitaciones en el área de diseño con dispositivos lógicos programables; adicionalmente el CIDEI ofrece un curso en diseño de circuitos impresos y en programación de procesadores ARM, los costos oscilan entre los 600.000 y 800.000 pesos; por otro lado, los servicios de montaje y fabricación de PCBs son más costosos que los suministrados por las empresas Microcircuitos en Bogotá y Colcircuitos en medellín, siendo la más atrasada tecnológicamente hablando

<sup>3</sup>Esto no implica que se esté recomendando no investigar en estos temas

el área de diseño y fabricación de sistemas digitales debido a: la insuficiente cantidad de personal calificado para absorber, asimilar, aplicar y difundir el conocimiento asociado a esta; el desconocimiento de la importancia del uso de esta tecnología en el desarrollo tecnológico del país por un amplio sector de la sociedad; el alto grado de dependencia hacia los productos importados; y el acceso limitado a la información necesaria para realizar el proceso adopción - asimilación - aplicación de conocimientos. Por lo tanto, la metodología y conocimientos resultantes del presente estudio deben permitir: la transferencia de conocimiento que permita entender la nueva tecnología; la formación de personal que pueda modificarla y adaptarla al entorno social local; generar actividades para que de forma gradual los diferentes sectores de la sociedad entiendan la importancia de esta tecnología; que sea utilizada en el proceso de formación a diferentes niveles y sea parte de los procesos de diseño en las empresas con actividades relacionadas; y que se creen mecanismos de difusión que permita el acceso al conocimiento por todos los sectores de la sociedad que estén interesados.

## 2.3. Metodología

A continuación se describirán brevemente las etapas de la metodología. Las primeras etapas elección, adquisición y adaptación están relacionadas con la adquisición del conocimiento a ser transferido, mientras que la absorción y asimilación, aplicación y difusión están relacionadas con uso y difusión del conocimiento [?].

- Elección: En la primera etapa se evalúa el estado de la plataforma tecnológica existente para identificar facilidades y necesidades; con esta información se busca una tecnología que pueda ser implementada con el estado actual de la plataforma tecnológica; se identificarán los niveles de complejidad de dicha tecnología para determinar una alternativa que pueda implementarse y de resultados a mediano y corto plazo con baja inversión de capital.
- Adquisición: En esta etapa se adquieren equipos que utilizan la tecnología que se desea transferir; gracias a que el campo de aplicación de los sistemas embebidos cubre una gran parte de las actividades humanas no es necesario realizar ningún tipo de acuerdo con proveedores extranjeros o invertir fuertes sumas de dinero; adicionalmente, se identificarán las herramientas de desarrollo que permitan el estudio y creación de nuevas aplicaciones.
- Adaptación: La adaptación se presenta cuando la sociedad encuentra posible y deseable realizar cambios para involucrar usos particulares de la tecnología; es un proceso dinámico que está formado por [14]: una etapa inicial donde se proporcionan procedimientos adecuados para la transferencia física; seguida de una fase donde se proporciona conocimiento, habilidades, datos, y las herramientas necesarias para la evaluación; una etapa de planeación, diseño e implementación del sistema de transferencia, planes y estrategias. Para determinar si es posible y conveniente el uso de las nuevas tecnologías en la industria y la academia nacionales, se realizarán una serie de actividades encaminadas a adquirir conocimiento y habilidades que permitan operar y programar los dispositivos digitales adquiridos previamente.

Se diseñará una metodología que permita el estudio gradual de diferentes tópicos asociados a esta tecnología (arquitectura, metodologías de diseño, programación básica, generación de aplicaciones, producción); la primera etapa consiste en la **adquisición** (compra) de un dispositivo comercial que permita realizar el estudio deseado; a continuación, con el uso de ingeniería inversa se identificará su arquitectura, las herramientas y vías para cambiar su funcionamiento, también se desarrollarán métodos para generación de aplicaciones similares a la original (**adaptación**). El siguiente paso consiste en la creación o adaptación de técnicas de fabricación que permitan el diseño y construcción local de plataformas que tengan la misma funcionalidad y permitan su estudio, fácil adaptación y desarrollo de

aplicaciones; en este punto, cuando ya se cuenta con los conocimientos para desarrollar aplicaciones propias, se transmitirán estos conocimientos a la academia y a la industria para que hagan parte de sus procesos de enseñanza y de diseño y producción respectivamente; finalmente se realizará la documentación del proceso de diseño de las plataformas de desarrollo, de las aplicaciones y del proceso de diseño, toda esta información será distribuida bajo el esquema de licencias *Creative Commons* (CC) BY-SA: atribución (BY), se permite la distribución dando crédito al autor; compartir de la misma forma (SA) exige que todo trabajo derivado debe tener la misma licencia de los trabajos originales.

La unión del software abierto utilizado para diseñar las placas de circuito impreso e implementar sus aplicaciones, unida al esquema de licencias CC define el novedoso concepto del *hardware copyleft* el cual se puede considerar como una extensión del proyecto de software libre aplicado al desarrollo hardware.

- **Absorción y asimilación:** Los procesos de absorción y asimilación describen la capacidad del receptor para utilizar la tecnología y permiten identificar la efectividad y el éxito de la transferencia; la absorción es la capacidad del receptor de absorber tecnología de un sector y la asimilación es la capacidad de asimilar (analizar, procesar, interpretar y entender) y utilizar la tecnología absorbida en otro sector [14]. Es importante generar dos tipos de habilidades para soportar la tecnología: Técnicas: hardware, sistemas operativos, redes, tecnologías de la comunicación, aplicaciones SW; Humanas: Habilidades y conocimientos necesarios para desarrollar, mantener, y manipular; habilidad para adaptar tecnologías al entorno local y futuro desarrollo. Es crucial contar con mecanismos de aprendizaje que permitan adquirir los conocimientos necesarios para operar y cambiar la nueva tecnología; este aprendizaje puede adquirirse por entrenamiento, seleccionando y contratando personal calificado o buscando posibles soluciones en recursos publicados. En este estudio se creará un banco de proyectos que podrá ser utilizado como base de futuros desarrollos y se diseñarán cursos para la enseñanza de metodologías de diseño y procesos de fabricación de la nueva tecnología. Para la transferencia en diseño de sistemas embebidos se desarrollarán y/o adaptarán metodologías de diseño y procesos de fabricación que culminen en el diseño e implementación de productos tecnológicos propios y en el desarrollo de proyectos académicos.
- **Aplicación:** En esta etapa se incorporará y aplicará el conocimiento adquirido y asimilado en las etapas anteriores a la industria y a la academia; se realizará una prueba piloto con la participación de la Universidad Nacional de Colombia y una empresa colombiana radicada en Bogotá. La línea de electrónica digital del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia esta compuesta por cuatro asignaturas: electrónica digital I, electrónica digital II, sistemas embebidos y técnicas de integración; durante un período de dos años se incorporarán metodologías de diseño y de fabricación en estas asignaturas, los cambios se realizarán de forma gradual iniciando con la asignatura electrónica digital I, continuando con electrónica digital II y así hasta llegar a técnicas de integración. Se realizará una explicación detallada del contenido de estas asignaturas y su adaptación a la iniciativa CDIO<sup>4</sup>.

En el campo comercial, se trabajará con una empresa de base tecnológica (cuya creación será motivada por este estudio) con los objetivos de evaluar el impacto del uso de esta tecnología en la industria colombiana y proporcionar información sobre el estado de la industria electrónica en el país ayudando a detectar los obstáculos que enfrentan nuevas empresas en su ejercicio de suministrar soluciones a problemas locales.

- **Difusión y Desarrollo** La tarea más importante de esta etapa, es la creación de una comunidad que utilice los conocimientos generados en el proceso (recurso, bien público), proporcione nuevo

<sup>4</sup>Concebir, Diseñar, Implementar y Operar, iniciativa creada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) con ayuda de industriales, ingenieros y docentes, con el objeto de desarrollar una nueva visión de la educación en ingeniería, y ha sido adoptada por un creciente número de instituciones académicas a lo largo del mundo

conocimiento que haga parte de este bien público y depure las herramientas y el contenido del mismo; por esto, es importante vincular a personas con diferentes intereses y niveles de formación. Para ayudar a la comunicación entre usuarios del recurso y a la difusión de sus proyectos, se creará una lista de correo donde se puedan discutir temas relacionados y se dispondrá de una wiki en donde se documentará el proceso de diseño de los proyectos; se configurará un servidor que permita subir archivos, trabajo multi-usuario y control de revisiones, lo que facilitará el trabajo en equipo para usuarios que se encuentran separados geográficamente. Estas facilidades se encontrarán disponibles a todo interesado en un portal público.

El objetivo final de todo este proceso es el aumento de la demanda de productos, bienes y servicios relacionados con esta tecnología; compra de maquinaria que permita la fabricación masiva de forma local; diseño de nuevos componentes (Circuitos Integrados, IPs, software CAD); creación de políticas gubernamentales que protejan la producción local; participación activa de la academia en la solución de problemas y en la formulación de políticas de gobierno relacionadas.

## 2.4. Actividades y Cronograma

### 2.4.1. Actividades

En la Figura 2.1 se resumen las actividades a realizar durante este proyecto, se derivan de la metodología presentada en la sección anterior.

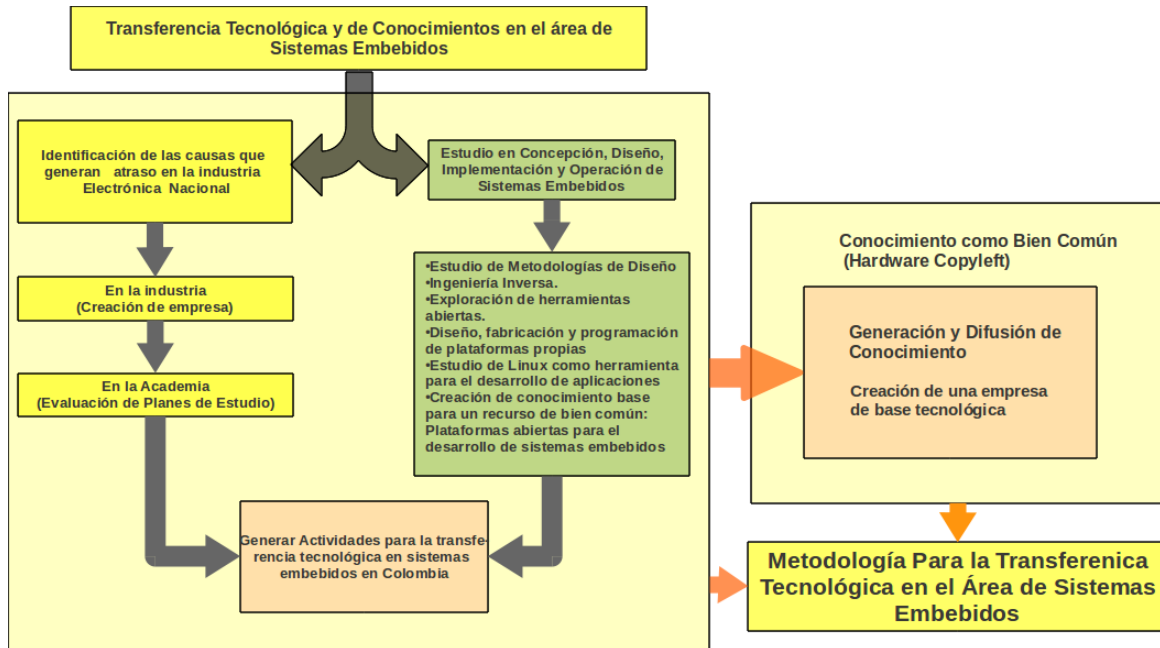
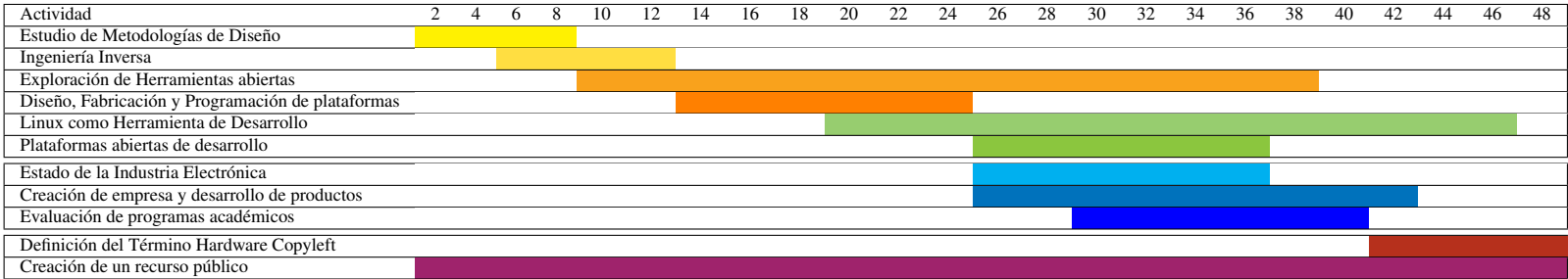


Figura 2.1: Actividades

2.4.2. Cronograma

En la tabla 2.1 se muestra el cronograma previsto para el desarrollo de las actividades



Cuadro 2.1: Cronograma Para el Proyecto: METODOLOGÍA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTOS EN EL ÁREA DE SISTEMAS EMBEBIDOS

## 2.5. Recursos

Este estudio se realizará por completo en Colombia, utilizando los siguientes recursos suministrados por el programa de doctorado en ingeniería eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia:

- *Recursos físicos*
  - Oficina con equipo de Cómputo y conexión a Internet (UNAL).
  - Equipo básico de Laboratorio (UNAL).
  - Acceso a los artículos de la IEEE (UNAL).
- *Recursos económicos.*
  - Salario para manutención, en modalidad de *comisión de estudios* (UNAL) durante 4 años.
  - Dinero para desarrollo de prototipos y compra de tarjetas de desarrollo. Financiado por la Dirección de Investigación de la Sede Bogotá (UNAL) y recursos propios.
- *Recursos de Personal* Este proyecto no se encuentra asociado a ningún grupo de investigación, por lo que no se dispondrá de estudiantes que ayuden en el proceso.





# Bibliografía

- [1] Mark Weiser. The Computer for the 21st Century. <http://www.ubiq.com/hyertext/weiser/Sci-AmDraft3.html>.
- [2] M. Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. *Commun. ACM*, 1993.
- [3] D. Servant. Combining amorphous computing and reactive agent-based systems: a paradigm for pervasive intelligence? In *First international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, 2002.
- [4] Héctor Martínez. Apropiación de conocimiento en Colombia. El caso de los contratos de importación de tecnología. *Revista Cuadernos de Economía*, 2004.
- [5] Kenneth Arrow. *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*. Princeton University Press, 1962.
- [6] European Technology Platform on Smart System Integration (EPoSS). European Technology Platform on Smart Systems Integration. Strategic Research Agenda 2009. 2009.
- [7] M. Tovar and R. Rodríguez. PROSPECTIVA Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE LA ELECTRÓNICA EN COLOMBIA. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [8] M. Duque and A. Gauthier. Formación de Ingenieros para la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia. *Revista de la Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia*, December 1999.
- [9] D Zuluaga, S Campos, M Tovar, R Rodríguez, J Sánchez, A Aguilera, L Landínez, and J Medina. Informe de Vigilancia Tecnológica: Aplicaciones de la Electrónica en el Sector Agrícola. Technical report, COLCIENCIAS, 2007.
- [10] M. Odedra. *Information Technology Transfer to Developing Countries: Case studies from Kenya, Zambia and Zimbabwe*. PhD thesis, London School of Economics, 1990.
- [11] Innovation Associates Inc. Technology Transfer and Commercialization Partnerships Executive Summary.
- [12] Charles M. Schweik. *Understanding Knowledge as a Commons: From Theory to Practice*, chapter Free/Open-Source Software as a Framework for Establishing Commons in Science. The MIT Press, 2006.
- [13] M. odedra-straub. The Myths and Illusions of Technology Transfer. *IFIP World Congress Proceedings*, August 1994.
- [14] K. Al-Mabrouk and J. Soar. Building a Framework for Understanding and Improving Information Technology Transfer Process in the Arab Countries. *9th IBIMA Conference: Information Management in Modern Organisations - Trends & Challenges*, 2008.